



TUGAS AKHIR - TF 141581

ANALISIS PENGARUH MEKANISME *PASSIVE VARIABLE - PITCH* PADA TURBIN SUMBU VERTIKAL DARRIEUS CASCADE TERHADAP EFISIENSI TURBIN HIDROKINETIK BERBASIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

CHOIRUN NISAA FIRDAUSY
NRP. 2413 100 072

Dosen Pembimbing :
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini memang dikosongkan”



FINAL PROJECT - TF 141581

ANALYSIS ON THE EFFECT OF PASSIVE VARIABLE-PITCH MECHANISM ON VERTICAL AXIS DARRIEUS CASCADE TURBINE TO THE EFFICIENCY OF HYDROKINETICS TURBINE BASED ON COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

CHOIRUN NISAA FIRDAUSY
NRP. 2413 100 072

Supervisor
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

“Halaman ini memang dikosongkan”

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Choirun Nisaa Firdausy
NRP : 2413 100 072
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Mekanisme *Passive Variable – Pitch* pada Turbin Sumbu Vertikal Darrieus *Cascade* Terhadap Efisiensi Turbin Hidrokinetik Berbasis *Computational Fluid Dynamics*” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 06 Juli 2017
Yang membuat pernyataan,
a.n.



Choirun Nisaa Firdausy
NRP. 2413100072

“Halaman ini memang dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PENGARUH MEKANISME *PASSIVE*
VARIABLE-PITCH PADA TURBIN SUMBU VERTIKAL
DARRIEUS CASCADE TERHADAP EFISIENSI
TURBIN HIDROKINETIK BERBASIS
*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

Oleh:

Choirun Nisaa Firdausy
NRP. 2413 100 072

Surabaya, 06 Juli 2017

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr.



Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
NIP. 19761223 200501 1 001

Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.
NIP. 19880710 201504 2 001

**Mengetahui,
Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI - ITS**



Agus Muthammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002

“Halaman ini memang dikosongkan”

**ANALISIS PENGARUH MEKANISME *PASSIVE*
VARIABLE-PITCH PADA TURBIN SUMBU VERTIKAL
DARRIEUS CASCADE TERHADAP EFISIENSI
TURBIN HIDROKINETIK BERBASIS
*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

TUGAS AKHIR

Ditujukan untuk Memenuhi Salah Satu
Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Energi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

CHOIRUN NISAA FIRDAUSY
NRP. 2413 100 072

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. (Pembimbing I)
2. Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc. (Pembimbing II)
3. Ir. Roekmono, M.T. (Penguji I)
4. Ir. Harsono Hadi, M.T., Ph.D. (Penguji II)
5. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji III)

SURABAYA
JULI 2017

“Halaman ini memang dikosongkan”

**ANALISIS PENGARUH MEKANSIME *PASSIVE*
VARIABLE-PITCH PADA TURBIN SUMBU VERTIKAL
DARRIEUS CASCADE TERHADAP EFISIENSI TURBIN
HIDROKINETIK BERBASIS *COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS***

Nama Mahasiswa : Choirun Nisaa Firdausy
NRP : 2413 100 072
Departemen : Teknik Fisika FTI - ITS
Pembimbing I : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Pembimbing II : Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

Abstrak

Ada banyak cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan performansi turbin hidrokinetik, diantaranya dengan penyusunan *blade* turbin secara rangkap pada satu lengan, atau biasa disebut dengan *cascade* dan juga penggunaan mekanisme *passive variable – pitch*, yaitu mekanisme yang mengatur *blade* sehingga dapat bergerak dengan sudut tertentu dengan diatur oleh *stopper*. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan studi eksperimental dan simulasi mengenai pengaruh penggunaan *cascade foil* terhadap performansi turbin, yang membuktikan bahwa susunan *cascade* pada turbin dapat meningkatkan performansi turbin. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis mengenai pengaruh penggunaan *passive variable – pitch* pada turbin Darrieus sumbu vertikal yang disusun secara *cascade* terhadap performansi turbin. Berdasarkan simulasi yang dilakukan dengan metode CFD, didapatkan hasil bahwa semakin besar kecepatan aliran air, akan semakin besar pula nilai gaya dan torsi pada turbin. Namun nilai koefisien performansi (C_p) justru semakin turun seiring dengan peningkatan nilai kecepatan aliran, dimana C_p terbaik didapatkan pada kecepatan aliran 0,8 m/s dengan nilai C_p sebesar 39,76%. Selain itu, pada penelitian ini juga dilakukan analisis terhadap pola tekanan dan *streamline* kecepatan. Dari kontur tekanan dan *streamline* kecepatan, terlihat bahwa posisi sudut azimuth 90° memiliki tekanan terbesar dan berbanding terbalik dengan kecepatan.

Kata kunci: turbin hidrokinetik, darrieus, *cascade*, *passive variable – pitch*, CFD, torsi, gaya, kontur tekanan, *streamline* kecepatan, C_p

ANALYSIS ON THE EFFECT OF PASSIVE VARIABLE-PITCH MECHANISM ON VERTICAL AXIS DARRIEUS CASCADE TURBINE TO THE EFFICIENCY OF HYDROKINETICS TURBINE BASED ON COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Student's Name : Choirun Nisaa Firdausy
NRP : 2413 100 072
Department : Engineering Physics, FTI – ITS
Supervisor I : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Supervisor II : Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

Abstract

There are many ways to increasing the performance of hydrokinethics turbine, such as by arrange multiple turbine in one arm, which usually called as cascade configuration and also by using passive variable – pitch mechanism, a mechanism which allow the blade to move in a certain angle cotrolled by the stopper. On the previous research, it already did both experimental and simulational works about the effect of the use of cascade foil to the performance of the turbine, which is proved that the cascade configuration in turbine can increase the performance of the turbine. In this research, the effect of the use of passive variable – pitch in vertical axis Darrieus cascade turbine to the performance of the turbine is being analyzed. Based on the simulation using CFD method, it is found that the greater the velocity of the water, the greater the force and the torque value of the turbine. But the Coefficient of Power (C_p) of the turbine is decreased when the velocity of the water is increased, where the best C_p is obtained when the velocity of the water is 0,8 m/s with the efficiency value is 39,76%. This research also analyze the pressure contour and the streamline of the velocity. From the pressure contour and velocity streamline, it is found that at 90^0 of azimuth angle it has the the biggest pressure value and equally inversed with the velocity value.

Keywords: hydrokinethics turbine, darrieus, cascade, passive variable – pitch, CDF, torque, force, pressure contour, velocity streamline, C_p

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas petunjuk dan karunia-Nya penulis mampu melaksanakan dan menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul **“Analisis Pengaruh Mekanisme *Passive Variable* – *Pitch* pada Turbin Sumbu Vertikal Darrieus Cascade Terhadap Efisiensi Turbin Hidrokinetik Berbasis *Computatuional Fluid Dynamics*”**.

Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Aminudin dan Ibu Eni Winarningsih, Mbak Rizki Amalia Firdausy, Mas Arif Noor Putra, dan seluruh keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan
2. Bapak Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku ketua departemen Teknik Fisika FTI ITS
3. Bapak Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. dan Ibu Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi kepada penulis selama pelaksanaan tugas akhir ini
4. Bapak Ir. Heri Joestiono, M.T. selaku dosen wali yang banyak memberikan nasihat dan motivasi kepada penulis
5. Bapak Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T. selaku kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika FTI ITS yang telah memfasilitasi penulis dalam melakukan simulasi serta diskusi
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah banyak memberikan ilmu selama masa perkuliahan
7. Mbak Erna, Mas Fardan, Mas Fahmi, Mas Abdi, Mas Zain, tim TA turbin, dan seluruh teman – teman TA-wan energi yang banyak membantu dalam berdiskusi tentang turbin hingga proses simulasi pada penelitian ini

8. Teman – teman KSE Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan yang telah menjadi rumah kedua bagi penulis selama menjalani perkuliahan
9. Ajeng, Nike, Shinta, dan Ayu, teman berbagi cerita dan penyemangat sejak masih mahasiswa baru hingga saat ini
10. Golda, sahabat sejak SMP dan Tara, sahabat sejak SMA sampai sekarang yang selalu memberikan dukungan kepada penulis
11. Muhammad Alief Rizal Romadhoni yang telah membantu dan banyak memberikan masukan kepada penulis
12. Teman – teman angkatan 2013, *Triumphant Fighters*, yang telah memberikan banyak cerita selama di Teknik Fisika
13. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian hingga penyusunan laporan tugas akhir ini.

Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya. Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam laporan tugas akhir ini, maka dari itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PAGE OF TITLE	iii
LEMBAR PENGESAHAN I	v
LEMBAR PENGESAHAN II.....	vii
Abstrak	ix
Abstract	xi
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR SIMBOL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Turbin Darrieus	5
2.2. Gaya pada Turbin.....	6
2.3. Performansi Turbin	8
2.4. Mekanisme <i>Passive Variable – Pitch</i>	9
2.5. Hidrofoil dan NACA.....	10
2.6. Visualisasi Aliran	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1. Diagram Alir Penelitian	13
3.2. Pembuatan Geometri.....	14
3.3. <i>Meshing</i>	17
3.4. <i>Pre – Processing</i>	18
3.5. <i>Solver</i>	19
3.6. <i>Post – Processing</i>	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1. Validasi Hasil Simulasi CFD	21

4.2.	Data Kecepatan Aliran Air dan Kecepatan Putar Turbin	21
4.3.	Data Gaya dan Torsi pada Variasi Kecepatan Aliran Air	22
4.4.	Karakteristik Aliran yang Melalui Turbin	28
4.5.	Performansi Turbin	39
4.6.	Pembahasan	40
BAB IV PENUTUP		45
5.1.	Kesimpulan	45
5.2.	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA		47
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema diagram turbin sumbu vertical tipe Darrieus (Lee & Lim, 2015).....	5
Gambar 2.2 Gaya yang bekerja pada turbin (Khalid, Liang, Qi-hu, & Xue-Wei, 2013).....	6
Gambar 2.3 Contoh mekanisme <i>passive variable – pitch</i>	9
Gambar 2.4 Profil NACA 0012, NACA 0015, dan NACA 0018 (Coiro dkk, 2005)	10
Gambar 2.5 Contoh visualisasi aliran: (a) kontur tekanan dan (b) <i>streamline</i> kecepatan	11
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	13
Gambar 3.2 Gambar geometri turbin: (a) tampak atas, (b) dan (c) tampak samping.....	16
Gambar 3.3 Contoh tampilan <i>meshing</i>	18
Gambar 4.1 Pola perubahan nilai gaya pada kecepatan aliran 0,8 m/s	23
Gambar 4.2 Pola perubahan nilai torsi pada kecepatan aliran 0,8 m/s	23
Gambar 4.3 Pola perubahan nilai gaya pada kecepatan aliran 1,2 m/s	24
Gambar 4.4 Pola perubahan nilai torsi pada kecepatan aliran 1,2 m/s	24
Gambar 4.5 Pola perubahan gaya pada kecepatan aliran 1,6 m/s	25
Gambar 4.6 Pola perubahan torsi pada kecepatan aliran 1,6 m/s	26
Gambar 4.7 Peningkatan nilai gaya terhadap kecepatan aliran air	27
Gambar 4.8 Peningkatan nilai torsi terhadap kecepatan aliran air	27

Gambar 4.9 Kontur tekanan pada sudut azimuth: (a)0 ⁰ dan (b)15 ⁰	29
Gambar 4.10 Kontur tekanan pada sudut azimuth: (a)30 ⁰ dan (b)45 ⁰	30
Gambar 4.11 Kontur tekanan pada sudut azimuth: (a)60 ⁰ dan (b)75 ⁰	31
Gambar 4.12 Kontur tekanan pada sudut azimuth: (a)90 ⁰ dan (b)115 ⁰	32
Gambar 4.13 Kontur tekanan pada sudut azimuth 90 ⁰ diambil dari kedalaman 0,9 m dari permukaan air	33
Gambar 4.14 Kontur tekanan pada sudut azimuth 90 ⁰ diambil dari kedalaman: (a)0,6 m dari permukaan air dan (b)0,3 m dari permukaan air	34
Gambar 4.15 Pola kecepatan aliran pada sudut azimuth 90 ⁰	34
Gambar 4.16 Pola kecepatan aliran yang melalui turbin pada sudut azimuth (a)0 ⁰ dan (b)15 ⁰	36
Gambar 4.17 Pola kecepatan aliran air yang melalui turbin pada sudut azimuth (a)30 ⁰ dan (b)45 ⁰	37
Gambar 4.18 Pola kecepatan aliran air yang melalui turbin pada sudut azimuth (a)60 ⁰ dan (b)75 ⁰	38
Gambar 4.19 Pola kecepatan aliran yang melalui turbin pada sudut azimuth (a)90 ⁰ dan (b)105 ⁰	39
Gambar 4.20 Grafik nilai koefisien performansi turbin (C_p) terhadap kecepatan aliran air	40
Gambar 4.21 Grafik perubahan gaya pada kecepatan 0,8 m/s, 1,2 m/s, dan 1,6 m/s	41
Gambar 4.22 Grafik perubahan torsi pada kecepatan 0,8 m/s, 1,2 m/s, dan 1,6 m/s	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Spesifikasi turbin (Argaputra, Firdausy, Yuwono, Izdiharudin, & Aji, 2017)	14
Tabel 3.2. Spesifikasi Domain Silinder dan Kotak (<i>box</i>)	15
Tabel 3.3. Data Posisi <i>Blade</i> dengan <i>Passive variable Pitch</i> di Setiap Sudut Azimuth.....	17
Tabel 3.4. Data hasil <i>meshing</i>	18
Tabel 3.5. Kondisi Batas pada Simulasi.....	19
Tabel 4.1 Data Kecepatan Aliran Air dan Kecepatan Putaran Turbin Hasil Ekstrapolasi	22
Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Nilai C_p pada Setiap Variasi Kecepatan Aliran	39

"Halaman ini memang dikosongkan"

DAFTAR SIMBOL

A	Luas permukaan (m^2)
c	Panjang <i>chord</i> (m)
C_D	Koefisien <i>drag</i>
C_L	Koefisien <i>lift</i>
C_P	<i>Coefficient of Power</i>
D	Diameter turbin (m)
F	Gaya rotor turbin (N)
F_D	Gaya <i>drag</i>
F_L	Gaya <i>lift</i>
N	Jumlah <i>blade</i> turbin
P_{turbin}	Daya turbin (Watt)
P_{air}	Daya air (Watt)
R atau r	Jari - jari turbin (m)
V	Kecepatan aliran air (m/s)
ρ	Massa jenis (kg/m^3)
ω	Kecepatan angular (rad/s)
τ	Torsi (Nm)
π	phi (22/7 atau 3,14)
σ	<i>Solidity</i>

"Halaman ini memang dikosongkan"

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia yang terus meningkat setiap tahun mendorong adanya pemanfaatan sumber energi baru terbarukan (EBT) untuk dapat memenuhi kebutuhan energi nasional. Berdasarkan data dari Kementerian ESDM dan Dewan Energi Nasional (DEN) pada 2013, tercatat bahwa potensi EBT terbesar adalah energi dari air sebesar 75.000 MW, dengan kapasitas yang terpasang baru sebesar 7573 MW. Dengan kata lain, potensi energi air yang telah dimanfaatkan hingga tahun 2013 baru sebesar 10,1%. Dan untuk energi laut terdapat potensi sebesar 49 GW dengan kapasitas terpasang baru 0.01 MW (Dewan Energi Nasional, 2014). Berdasarkan data tersebut, maka konversi energi dengan memanfaatkan energi air memiliki peluang yang besar untuk membantu memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. Sumber energi air yang paling besar dan potensial untuk dimanfaatkan adalah energi arus laut, dimana kecepatan arus laut di beberapa perairan di Indonesia seperti Bali, Lombok, dan Nusa Tenggara mencapai 2 – 3 m/s (Imanuddin, 2016).

Untuk melakukan konversi energi arus air dapat menggunakan turbin. Turbin arus air yang banyak dikembangkan adalah tipe Darrieus dan tipe Gorlov. Dari kedua tipe turbin tersebut, turbin Darrieus lebih unggul dalam beberapa parameter. Konstruksi *blade* pada turbin Darrieus yang lebih sederhana dibandingkan turbin Gorlov merupakan salah satu kelebihan, karena menyebabkan biaya fabrikasi yang lebih kecil (Winchester & Quayle, 2009). Selain itu, turbin Darrieus memiliki torsi yang sangat besar pada kecepatan arus tinggi (Jaini, Kaprawi, & Santoso, 2015).

Dalam konversi energi arus laut menjadi energi listrik, untuk mendapatkan energi yang optimal dibutuhkan turbin dengan efisiensi yang tinggi. Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan beberapa upaya untuk meningkatkan efisiensi turbin. Cara yang pertama adalah dengan menguji variasi *solidity* (Shiono, Suzuki, &

Kiho, 2002). *Solidity* berhubungan dengan luas sapuan turbin, dimana semakin besar luas sapuan turbin akan semakin besar gaya *lift* yang dihasilkan sehingga torsi akan semakin besar. Metode berikutnya adalah dengan menggunakan *blade* dengan *passive variable-pitch* menggantikan *blade* dengan *fixed pitch* (Hantoro, Utama, Erwandi, & Sulisetyono, 2011). Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *passive variable-pitch* dapat meningkatkan performa turbin yang ditandai dengan peningkatan RPM. Selanjutnya pada penelitian yang dilakukan oleh Niblick pada tahun 2012, disebutkan bahwa turbin Darrieus merupakan *lift device*, dimana turbin memanfaatkan gaya *lift* (gaya angkat) untuk berputar. Bagian turbin Darrieus yang menghasilkan gaya *lift* terbesar adalah *blade* (Niblick, 2012). Pada penelitian selanjutnya, dilakukan rancang bangun turbin arus laut sumbu vertikal *straight blade cascade*, dimana pada eksperimen ini dikombinasikan antara *fixed pitch* dan *passive pitch* dalam satu turbin, dan didapatkan peningkatan efisiensi sebesar 8% jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Manggala, 2016). Peningkatan efisiensi tersebut terjadi karena turbin yang disusun secara *cascade* dan mengkombinasikan *fixed pitch* dengan *passive pitch* memiliki gaya dan torsi yang lebih besar, serta luasan area yang lebih besar sehingga mendapatkan lebih banyak tekanan (Imanuddin, 2016). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan simulasi turbin Darrieus menggunakan *passive variable-pitch* dengan susunan *blade* rangkap (*cascade blade*). Diharapkan dari penelitian ini akan didapatkan peningkatan efisiensi turbin Darrieus yang dapat digunakan sebagai referensi untuk pengembangan turbin arus air di masa yang akan datang.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang ingin diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh mekanisme *passive variable-pitch* pada turbin Darrieus dengan susunan *cascade* terhadap karakteristik aliran air?

2. Bagaimana pengaruh mekanisme *passive variable-pitch* pada turbin Darrieus dengan susunan *cascade* terhadap performansi turbin?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh mekanisme *passive variable-pitch* pada turbin Darrieus dengan susunan *cascade* terhadap karakteristik aliran air dengan simulasi CFD
2. Untuk mengetahui pengaruh mekanisme *passive variable-pitch* pada turbin Darrieus dengan susunan *cascade* terhadap performansi turbin.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Turbin yang digunakan pada penelitian ini adalah turbin Darrieus aksis vertikal jenis *straight blade*
2. Kecepatan aliran yang digunakan adalah kecepatan 0,8 m/s, 1,2 m/s dan 1.6 m/s
3. Tipe *blade* yang digunakan adalah NACA 0018 dengan tinggi turbin 82 cm dan diameter turbin 80 cm
4. Jumlah *hydrofoil* yang digunakan sebanyak 9 *foil cascade 3 blade*
5. Semua *blade* menggunakan *passive variable-pitch* dengan besar sudut *pitch* yaitu ± 20 derajat
6. Metode simulasi dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics*.

1.5. Sistematika Laporan

Laporan penelitian Tugas Akhir ini akan disusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika laporan

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi teori – teori penunjang yang mendasari Tugas Akhir ini, baik yang bersumber dari buku, jurnal, maupun laporan tugas akhir atau penelitian terkait.

BAB III Metodologi Penelitian

dalam bab ini dijelaskan mengenai tahapan – tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan Tugas Akhir, dimulai dari studi literatur hingga pengambilan data, pembahasan, dan penarikan kesimpulan.

BAB IV Analisis Data dan Pembahasan

Pada bab ini ditampilkan data yang didapat dari proses simulasi disertai analisisnya. Dari hasil analisis tersebut dilakukan pembahasan sesuai tujuan penelitian.

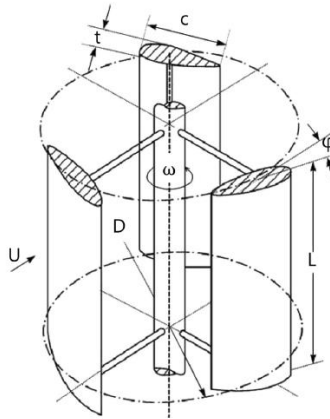
BAB V Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan Tugas Akhir serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Turbin Darrieus

Turbin arus air yang banyak dikembangkan ialah tipe Darrieus dan tipe Helical. Turbin Darrieus merupakan turbin yang ditemukan oleh George Jean Marie Darrieus, ilmuwan asal Perancis. Turbin Darrieus termasuk turbin sumbu vertikal, dimana poros turbin (*shaft*) tegak lurus dengan arah aliran fluida dan sudu turbin terhubung dengan *shaft* oleh lengan turbin. Kondisi ini memungkinkan turbin Darrieus menerima aliran fluida dari berbagai arah (Khalid, Liang, Qi-hu, & Xue-Wei, 2013). Turbin jenis ini memiliki desain yang sederhana sehingga biaya fabrikasi *blade* lebih murah dibandingkan turbin sumbu horizontal.



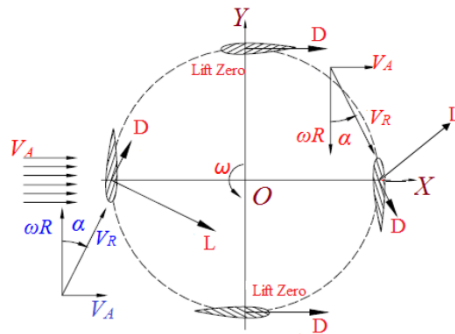
Gambar 2.1 Skema diagram turbin sumbu vertikal tipe Darrieus (Lee & Lim, 2015)

Kelebihan dari turbin Darrieus adalah strukturnya yang relatif terbuka dibandingkan dengan turbin propeller karena dapat memblokir penampang sungai atau saluran (Fleisinger, Vesenjak, & Hribersek, 2014). Yang menjadi kelemahan turbin Darrieus adalah kemampuan *self starting* – nya yang rendah. Namun kekurangan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan profil

airfoil yang berbeda, menambah jumlah *blade*, atau menggunakan *blade* dengan *pitch* yang bervariasi.

Turbin Darrieus memanfaatkan gaya *lift* untuk bergerak. Gaya *lift* terjadi karena bentuk *airfoil* pada sudu turbin. Sudu turbin “memotong” air sehingga terbentuk sudut serang terhadap fluida yang menyebabkan adanya perbedaan tekanan. Perbedaan tekanan tersebut menimbulkan gaya yang disebut gaya angkat (*lift*) yang menggerakkan sudu turbin ke depan. Untuk dapat menggerakkan turbin, torsi yang dihasilkan oleh gaya *lift* harus lebih besar daripada torsi yang dihasilkan oleh gaya *drag* (DeCoste, Smith, White, Berkvens, & Crawford, 2004).

2.2. Gaya pada Turbin



Gambar 2.2 Gaya yang bekerja pada turbin (Khalid, Liang, Qi-hu, & Xue-Wei, 2013)

Aliran air disimbolkan sebagai V_A , dimana kecepatan ini akan tegak lurus dengan kecepatan rotasi (ωR). Resultan dari arah kedua kecepatan disebut kecepatan relatif (V_R). sudut yang terbentuk antara kecepatan rotasi dengan kecepatan relatif disebut sudut serang (α). Pada sudut serang yang kecil, gaya angkat (*lift*) dihasilkan oleh *foil* dan memiliki komponen tangensial pada arah rotasi. Gaya angkat (*lift*) merupakan komponen gaya pada turbin yang tegak lurus dengan kecepatan aliran air, sedangkan gaya yang searah disebut gaya seret (*drag*).

Gaya *lift* dan gaya *drag* bergantung pada massa jenis fluida (ρ), kecepatan aliran (V), serta ukuran, bentuk, dan posisi objek, dalam hal ini *blade* turbin (Cengel & Cimbala, 2006). Karakteristik *lift* dan *drag* biasa dinyatakan dalam koefisien yang kemudian disebut koefisien *lift* dan koefisien *drag*. Kedua koefisien tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{array}{l} \text{Koefisien} \\ \text{drag:} \end{array} \quad C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (2.1)$$

$$\begin{array}{l} \text{Koefisien lift:} \end{array} \quad C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (2.2)$$

Keterangan:

C_D = koefisien *drag*

C_L = koefisien *lift*

F_D = gaya *drag* (N)

F_L = Gaya *lift* (N)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

V = kecepatan aliran air (m/s)

A = luas permukaan daerah sapuan turbin (m^2) = span x chord.

Gaya yang bekerja pada masing – masing *blade* menimbulkan adanya momen gaya atau biasa disebut torsi. Torsi merupakan gaya yang menyebabkan suatu benda berotasi. Besarnya torsi dipengaruhi oleh besarnya gaya dan panjang lengan. Torsi dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau = F \times r \quad (2.3)$$

Dimana F merupakan gaya rotor turbin, dan r merupakan jari – jari turbin. Gaya rotor turbin dirumuskan sebagai berikut:

$$F = \frac{1}{2} \rho A V^2 \quad (2.4)$$

Sehingga torsi rotor turbin dengan jari – jari turbin R secara teoritis dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau = \frac{1}{2} \rho A V^2 R \quad (2.5)$$

Selain itu dikenal juga istilah koefisien torsi (C_T), yang merupakan perbandingan antara torsi aktual dengan torsi teoritis dirumuskan

sebagai

berikut:

$$C_T = \frac{\tau}{\frac{1}{2}\rho AV^2 R} \quad (2.6)$$

2.3. Performansi Turbin

Untuk mengevaluasi performansi suatu turbin dapat dilihat dari beberapa parameter, seperti torsi, *Tip Speed Ratio* (TSR), *solidity*, koefisien performansi (C_p), dan daya. TSR merupakan salah satu karakteristik performansi aerodinamis pada turbin Darrieus. TSR didefinisikan sebagai:

$$TSR = \frac{R\omega}{V} \quad (2.7)$$

Dimana R adalah jari – jari turbin (m), ω adalah kecepatan angular (rad/s), dan V adalah kecepatan air (m/s). efisiensi dari turbin Darrieus mencapai nilai maksimum pada TSR tertentu dan turbin akan mengalami *stall* apabila TSR terlalu rendah atau terlalu tinggi (Abbot, 1982).

Parameter turbin yang juga mempengaruhi performansi aerodinamis turbin Darrieus adalah *solidity*, yang merupakan perbandingan jumlah luas daerah sapuan turbin dengan yang didefinisikan sebagai:

$$\sigma = \frac{Nc}{\pi D} \quad (2.8)$$

Dimana σ adalah *solidity*, N merupakan jumlah *blade* turbin, c adalah panjang *chord* (m), dan D diameter turbin (m).

Koefisien performansi (C_p) merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan turbin dengan daya aliran angin teoritis (Lee & Lim, 2015). C_p dirumuskan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_{turbin}}{P_{air}} \quad (2.9)$$

$$C_p = \frac{\tau \times \omega}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \quad (2.10)$$

Untuk efisiensi turbin (η) dapat dirumuskan sebagai:

$$\eta = C_p \times 100\% \quad (2.11)$$

2.4. Mekanisme *Passive Variable – Pitch*

Passive Variable – Pitch merupakan salah satu mekanisme untuk mengatur pergerakan *blade* pada turbin sehingga memungkinkan *blade* untuk bergerak pada sudut tertentu. Mekanisme ini dapat digunakan untuk mengatasi kekurangan dari turbin Darrieus *fixed – pitch* yang memiliki kemampuan *self – starting* yang rendah. Kemampuan *self starting* yang rendah akan menghasilkan efisiensi turbin yang rendah pula (Kirke dan Lazauskas, 1993).



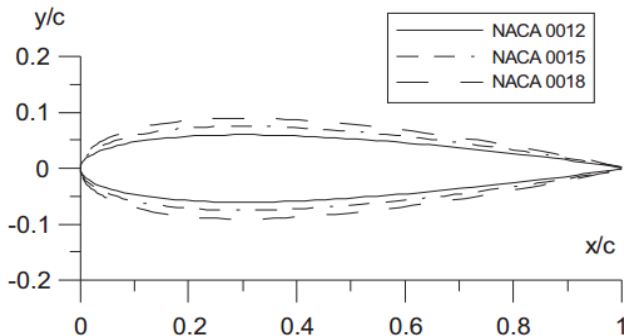
Gambar 2.3 Contoh mekanisme *passive variable – pitch*

Pada mekanisme *passive variable – pitch*, pergerakan *blade* dibatasi oleh *stopper*, sehingga *blade* dapat bergerak dengan sudut tertentu (Susilo, 2014). Pergerakan *blade* dapat memperkecil sudut serang, sehingga turbin dapat berputar pada kecepatan aliran yang rendah.

2.5. Hidrofoil dan NACA

Hidrofoil adalah bentuk sayap atau sudu pada turbin yang memiliki bentuk, sifat, dan kegunaan seperti airfoil. Yang membedakan hidrofoil dan airfoil hanyalah medianya, dimana airfoil bekerja pada media fluida berupa udara, sedangkan hidrofoil bekerja pada media fluida berupa air. Ada berbagai macam bentuk airfoil dengan karakteristik yang berbeda pula. Salah satu referensi untuk memilih airfoil yang banyak digunakan saat ini adalah NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*). NACA yang paling sering digunakan untuk turbin Darrieus adalah NACA 0018 karena memiliki ketebalan yang cukup tinggi serta *chord ratio* yang baik sehingga *blade* memiliki kekuatan yang baik (Hantoro, Utama, Erwandi, & Sulisetyono, An Experimental Investigation of Passive Variable-Pitch Vertical-Axis Ocean Current Turbine, 2011).

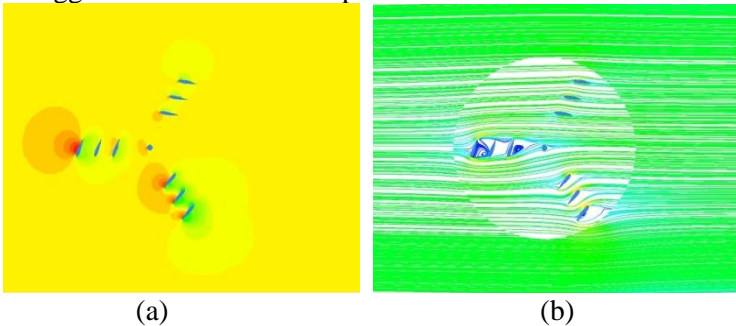
Untuk profil *foil* sistem NACA seri empat digit, digit pertama menunjukkan besar maksimum *chamber* sebagai persentase panjang *chord*. Digit kedua menunjukkan jarak maksimum *chamber* terhadap panjang *chord* dari *leading edge* sebagai persentase dari panjang *chord*. Dua digit terakhir menunjukkan besar maksimum ketebalan *foil* dari *leading edge* sebesar 30% dari panjang *chord*. Apabila dua digit pertama profil *foil* bernilai 0, seperti NACA 0018, maka *foil* tersebut berbentuk simetris (Amarta, 2016).



Gambar 2.4 Profil NACA 0012, NACA 0015, dan NACA 0018
(Coiro dkk, 2005)

2.6. Visualisasi Aliran

Visualisasi adalah cara yang digunakan untuk menampilkan data dalam bentuk gambar. Dalam simulasi CFD dengan ANSYS, visualisasi aliran bertujuan untuk melihat pola aliran yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang pada kondisi sebenarnya. Contoh bentuk visualisasi aliran yang kerap digunakan dalam simulasi CFD adalah plot kontur dan *streamline*. Plot kontur adalah rangkaian garis yang menghubungkan titik dengan nilai yang sama dengan variabel yang diberikan. *Streamline* adalah garis yang menggambarkan vektor kecepatan.

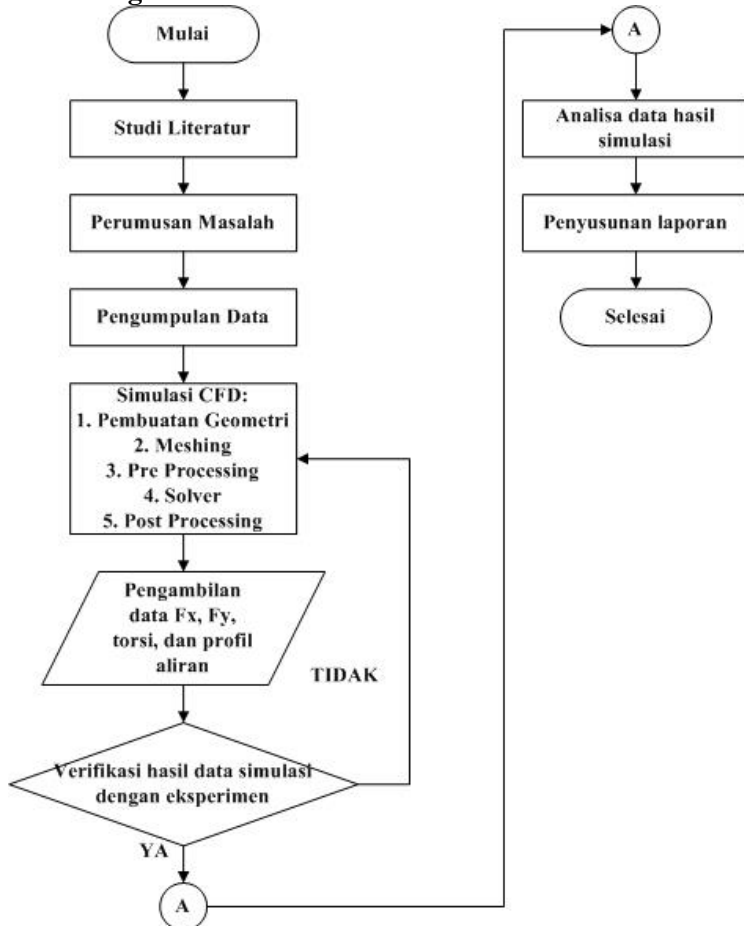


Gambar 2.5 Contoh visualisasi aliran: (a) kontur tekanan dan (b) *streamline* kecepatan

"Halaman ini memang dikosongkan"

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dari studi literatur. Pada tahap ini penulis mempelajari penelitian – penelitian, baik dalam bentuk

jurnal, laporan penelitian/tesis/disertasi, serta sumber informasi lainnya yang berkaitan dengan turbin hidrokinetik, mekanisme *passive variable – pitch*, aliran pada kanal terbuka, dan *computational fluid dynamics*. Berdasarkan hasil studi literatur kemudian dirumuskan permasalahan yang akan diteliti pada tugas akhir ini. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data yang didapatkan dari hasil eksperimen yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

Selanjutnya dilakukan proses simulasi CFD yang dimulai dari pembuatan geometri turbin, *meshing*, *pre – processing*, *solver*, dan *post – processing*. Setelah proses simulasi selesai, dilanjutkan dengan pengambilan data untuk dilakukan validasi. Proses validasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa data yang didapat dari hasil simulasi telah sesuai dengan data dari hasil eksperimen. pada penelitian ini, validasi dilakukan dengan membandingkan nilai torsi hasil simulasi dengan eksperimen pada sudut azimuth 0^0 , 15^0 , 30^0 , 45^0 , 60^0 , 75^0 , 90^0 , dan 105^0 . Toleransi error yang digunakan pada proses validasi ini adalah 10%.

Setelah didapatkan kondisi yang valid, proses simulasi dilanjutkan untuk variasi kecepatan aliran dan sudut azimuth yang lain. setelah proses simulasi selesai, dilanjutkan dengan pengambilan data F_x , F_y , torsi, dan profil aliran yang berupa kontur tekanan serta *streamline* kecepatan. Data yang telah didapatkan tersebut kemudian dianalisis sesuai dengan tujuan dari tugas akhir ini.

3.2. Pembuatan Geometri

Pada penelitian ini digunakan turbin hidrokinetik vertikal aksis tipe Darrieus *straight blade* dengan susunan cascade 3 *blade*. Tipe foil yang digunakan adalah NACA 0018. Detail spesifikasi domain turbin yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi turbin (Argaputra, Firdausy, Yuwono, Izdiharudin, & Aji, 2017)

No.	Besaran	Nilai
1	Diameter turbin	80 cm
2	Tinggi turbin	82 cm

3	Panjang <i>chord</i>	10 cm
4	Diameter <i>shaft</i>	3 cm
5	Panjang <i>shaft</i>	82 cm

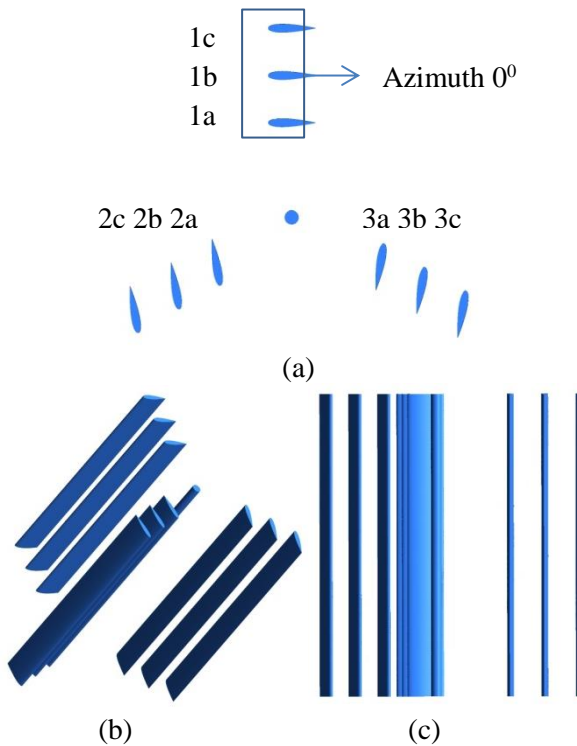
Pembuatan turbin diawali dengan membuat *hydrofoil*. Pembuatan *foil* dilakukan dengan memasukkan *file* koordinat *airfoil* NACA 0018. Titik koordinat yang terbentuk nantinya dihubungkan sehingga membentuk garis, kemudian dijadikan permukaan (*surface*) untuk selanjutnya dijadikan sebuah benda (*body*). Setelah pembuatan *hydrofoil* selesai, dilanjutkan dengan pembuatan poros turbin (*shaft*).

Setelah pembuatan domain turbin selesai, berikutnya dibuat domain silinder. Domain silinder ini menggambarkan keadaan turbin yang berotasi. Untuk domain air, dibuat domain kotak dengan jarak *upstream* sebesar 1,5D, dimana D merupakan diameter turbin, serta jarak *downstream* sebesar 2,5D. Detail spesifikasi domain silinder dan kotak dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi Domain Silinder dan Kotak (*box*)

No.	Besaran	Nilai
1	Silinder:	
	Diameter	100 cm
	Tinggi	120 cm
2	Kotak:	
	Panjang	400 cm
	Lebar	160 cm
	Tinggi	120 cm

Pada proses pembuatan geometri, dilakukan pula penentuan posisi *blade* yang menggambarkan pergerakan *blade* dengan sudut *pitch* sesuai kondisi saat eksperimen.



Gambar 3.2 Gambar geometri turbin: (a) tampak atas, (b) dan (c) tampak samping

Berdasarkan eksperimen, setiap blade akan menyentuh *inner stopper* (bergerak 20° kedalam) saat sudut azimuth berada di antara sudut $0^\circ - 200^\circ$. Sedangkan setiap *blade* akan menyentuh *outer stopper* (bergerak 20° keluar) saat sudut azimuth berada di antara sudut $200^\circ - 360^\circ$. Ketika *blade* tepat pada sudut azimuth 0° , 200° dan 360° , posisi *blade* berada tepat di tengah antara *inner stopper* dan *outer stopper*.

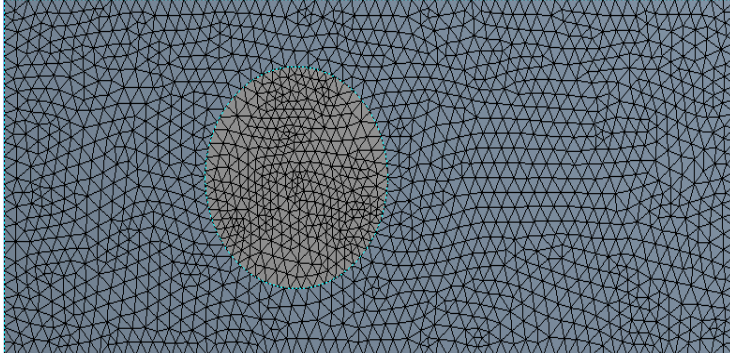
Tabel 3.3 Data Posisi *Blade* dengan *Passive variable Pitch* di Setiap Sudut Azimuth

Posisi	Sudut	Inner Stopper	Middle Stopper	Outer Stopper
	0		√	
1	120	√		
	240			√
	15	√		
2	135	√		
	255			√
	30	√		
3	150	√		
	270			√
	45	√		
4	165	√		
	285			√
	60	√		
5	180	√		
	300			√
	75	√		
6	195	√		
	315			√
	90	√		
7	210			√
	330			√
	105	√		
8	225			√
	345			√

3.3. Meshing

Setelah proses pembuatan geometri selesai, dilakukan proses *meshing*. Pada proses ini dilakukan pemecahan domain menjadi bagian – bagian kecil, dimana masing – masing bagian dianggap sebagai sebuah *control volume*. Pada setiap bagian tersebut nantinya akan dilakukan perhitungan persamaan konversi energi, massa, momentum, dan persamaan lainnya menggunakan *software* untuk CFD. Semakin kecil ukuran *meshing*, akan semakin akurat hasil perhitungan, namun akan membutuhkan komputasi

yang berat. Selain jumlah elemen, jenis *mesh* juga mempengaruhi kualitas *mesh* serta keakuratan perhitungan hasil simulasi. Untuk penelitian ini, jenis *mesh* yang sesuai adalah bentuk *tetrahedral*.



Gambar 3.3 Contoh tampilan *meshing*

Untuk mendapatkan hasil *meshing* terbaik, dilakukan beberapa percobaan variasi ukuran elemen *mesh*. Dari hasil percobaan tersebut, ketika ukuran elemen *mesh* pada *blade* dan *shaft* 2 mm, dengan jumlah elemen 21.332.765, iterasi tidak dapat dilakukan karena alokasi memori computer yang digunakan tidak memadai, sehingga kondisi *mesh* terbaik dimana dapat dilakukan komputasi adalah pada ukuran elemen *mesh* 3 mm untuk *blade* dan *shaft*, serta 50 mm untuk bagian *interface*.

Tabel 3.4 Data hasil *meshing*

Ukuran Elemen (mm)		Jumlah Elemen
<i>Blade dan shaft</i>	<i>interface</i>	
5	50	7.538.439
4	50	10.328.765
3	50	14.498.758
2	50	21.332.765

3.4. Pre – Processing

Tahap ini merupakan tahap untuk mendefinisikan kondisi batas (*boundary condition*). Kondisi batas yang digunakan disesuaikan dengan kondisi saat eksperimen agar mendapatkan

hasil simulasi yang sesuai. Kondisi batas yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Kondisi Batas pada Simulasi

No.	Kondisi Batas	Letak	Inisialisasi
1	<i>Inlet</i>	Aliran masuk	Kecepatan aliran sesuai dengan kecepatan aliran sebenarnya
2	<i>Opening</i>	Aliran keluar	<i>Opening Pressure and Direction, relative pressure=0, default intensity and autocompute length</i>
3	<i>Wall</i>	Permukaan atas, bawah, kanan, dan kiri domain box (air)	<i>Free slip</i>
4	<i>Wall</i>	Permukaan atas dan bawah domain silinder	<i>Free slip</i>
5	<i>Wall</i>	<i>Foil</i> dan <i>shaft</i>	<i>No slip</i> , RPM sesuai nilai sebenarnya

Selain menentukan inisialisasi seperti pada tabel diatas, perlu juga mendefinisikan model turbulensi yang digunakan. Untuk penelitian ini, digunakan model turbulensi SST.

Setelah inisialisasi kondisi batas, dilakukan pengaturan kriteria konvergensi. Pada simulasi ini kriteria konvergensi yang digunakan adalah RMS (*Root Mean Square*) *residual error* sebesar 0.0001.

3.5. Solver

Proses *solver* atau *processing* merupakan proses perhitungan berdasarkan geometri, *meshing*, serta kondisi batas yang telah ditentukan sebelumnya. Proses perhitungan dilakukan dengan cara

iterasi hingga mendapatkan nilai yang konvergen ketika nilai RMS *residual error* telah mencapai 0.0001.

3.6. *Post – Processing*

Proses ini adalah proses terakhir dari simulasi. Pada proses ini dilakukan pengambilan data, berupa data gaya dan torsi. Selain itu, pada proses ini juga dapat ditampilkan karakteristik aliran berupa kontur tekanan serta *streamline* kecepatan aliran.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Validasi Hasil Simulasi CFD

Validasi adalah proses untuk mendapatkan hasil simulasi yang paling mendekati kondisi sebenarnya untuk memastikan kebenaran model simulasi. Pada penelitian ini, validasi dilakukan dengan cara membandingkan nilai torsi turbin yang didapatkan dari simulasi dengan hasil eksperimen. Untuk mendapatkan nilai yang mendekati kondisi sebenarnya, maka kondisi batas yang digunakan pada simulasi disesuaikan dengan kondisi saat eksperimen. Validasi juga dipengaruhi oleh ukuran *mesh* saat simulasi, karena ukuran *mesh* berkaitan dengan perhitungan yang lebih detail.

Validasi pada penelitian ini dilakukan pada salah satu kecepatan aliran yaitu pada kecepatan 0,8 m/s. Ukuran *mesh* 3 mm untuk *shaft* dan *blade* serta 50 mm untuk *interface*. Dari hasil simulasi didapatkan nilai torsi sebesar 17,5945 Nm dan nilai torsi dari eksperimen adalah 17,2069 Nm, sehingga nilai *error* yang didapatkan adalah 2,3%. Dengan nilai *error* yang kurang dari 10%, dapat dikatakan data yang didapat dari simulasi telah tervalidasi. Selanjutnya dilakukan simulasi untuk kecepatan aliran 1,2 m/s dan 1,6 m/s.

4.2. Data Kecepatan Aliran Air dan Kecepatan Putar Turbin

Simulasi dilakukan pada 3 variasi kecepatan, yaitu 0,8 m/s, 1,2 m/s, dan 1,6 m/s. Kecepatan 1,2 m/s dan 1,6 m/s didapatkan dari hasil ekstrapolasi. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui performansi turbin Darrieus *cascade* pada kecepatan aliran yang lebih tinggi. Pada setiap variasi kecepatan dilakukan simulasi setiap sudut azimuth 15^0 untuk satu putaran penuh. Dari simulasi setiap sudut azimuth tersebut diambil data torsi, gaya, serta karakteristik aliran berupa kontur tekanan serta *streamline* kecepatan.

Tabel 4.1 Data Kecepatan Aliran Air dan Kecepatan Putaran Turbin Hasil Ekstrapolasi

Kecepatan Aliran (m/s)	Kecepatan Putaran Turbin (RPM)
0,8	36,3750
1,2	54,5393
1,6	72,9301

4.3. Data Gaya dan Torsi pada Variasi Kecepatan Aliran Air

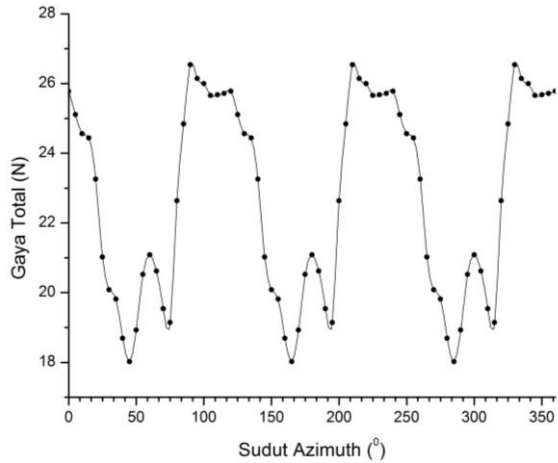
Pengambilan data gaya dan torsi dilakukan pada setiap sudut azimuth 15^0 , sehingga untuk satu putaran penuh terdapat 24 titik pengambilan data. Namun untuk simulasi hanya dilakukan 8 kali simulasi untuk satu kali putaran, karena terjadi kesamaan posisi *blade*, dimana pada saat *blade* 1 berada pada sudut azimuth 120^0 , *blade* 2 pada azimuth 240^0 , dan *blade* 3 pada sudut azimuth 0^0 , posisi ini sama seperti ketika *blade* 1 berada pada sudut azimuth 0^0 . Sehingga saat pengambilan data pada sudut azimuth 0^0 , didapatkan juga data untuk sudut azimuth 120^0 dan 240^0 . Begitu pula untuk sudut azimuth 15^0 , 30^0 , 45^0 , 60^0 , 75^0 , 90^0 , dan 105^0 . Dari hasil simulasi, didapatkan peningkatan nilai gaya dan torsi seiring dengan kenaikan kecepatan aliran.

4.3.1. Pola Perubahan Gaya dan Torsi pada Kecepatan Aliran 0,8 m/s

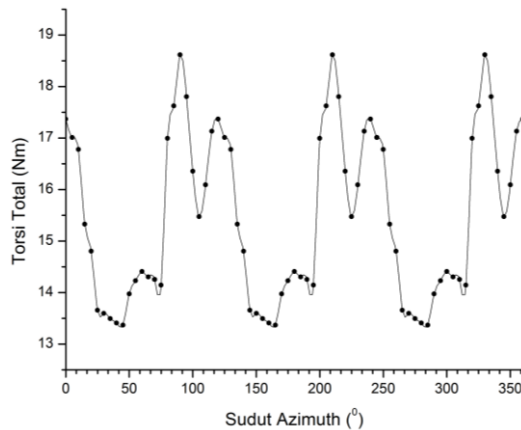
Nilai gaya dan torsi pada masing – masing sudut azimuth didapatkan dari hasil simulasi dengan cara menjumlahkan nilai gaya dan torsi pada tiap *blade* dan *shaft*. Bila dibuat grafik, gaya dan torsi untuk satu putaran penuh akan membentuk pola seperti pada gambar 4.1 dan 4.2.

Untuk kecepatan 0,8 m/s, gaya paling besar didapatkan pada sudut azimuth 90^0 , 210^0 , dan 330^0 , yaitu sebesar 26,5407 N. Pada nilai gaya yang besar, maka akan didapatkan pula nilai torsi yang besar pula. Pada sudut azimuth 90^0 , 210^0 , dan 330^0 , nilai torsi yang dihasilkan adalah 18,6155 Nm. Sedangkan untuk nilai gaya dan torsi terendah didapatkan pada sudut azimuth 45^0 , 165^0 , dan

285⁰ didapatkan nilai gaya sebesar 18,0201 N serta torsi 13,3672 Nm.



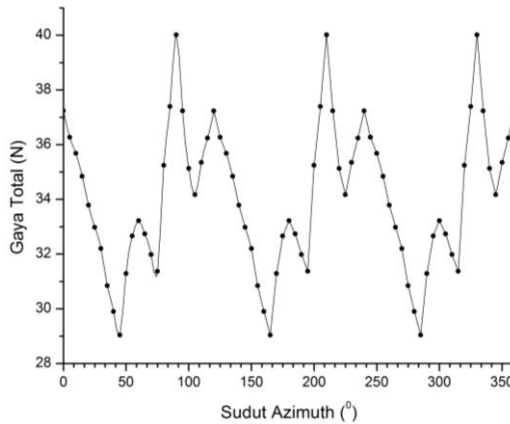
Gambar 4.1 Pola perubahan nilai gaya pada kecepatan aliran 0,8 m/s



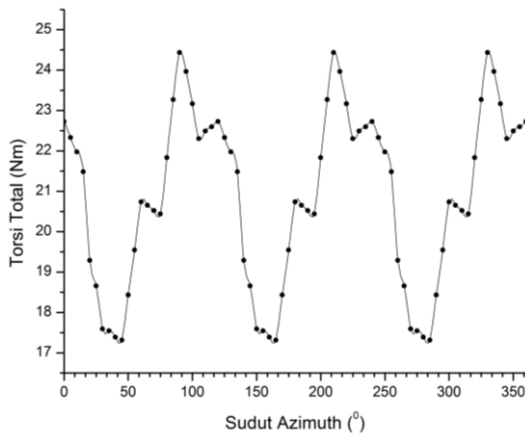
Gambar 4.2 Pola perubahan nilai torsi pada kecepatan aliran 0,8 m/s

4.3.2. Pola Perubahan Gaya dan Torsi pada Kecepatan Aliran 1,2 m/s

Seperti halnya pada kecepatan 0,8 m/s, pada kecepatan 1,2 m/s juga dilakukan pengambilan nilai gaya dan torsi untuk setiap sudut azimuth dengan kelipatan 15° dalam satu putaran penuh.



Gambar 4.3 Pola perubahan nilai gaya pada kecepatan aliran 1,2 m/s

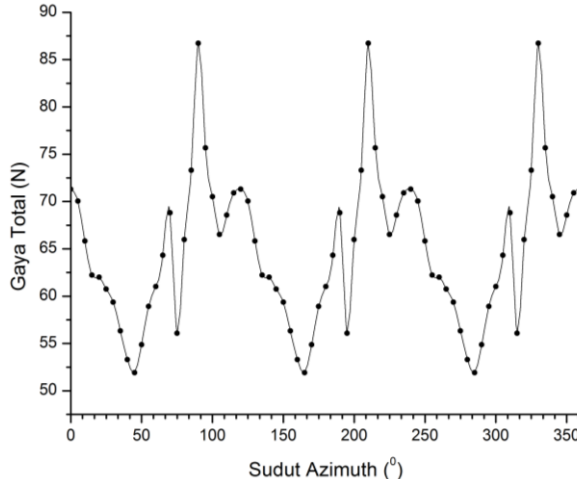


Gambar 4.4 Pola perubahan nilai torsi pada kecepatan aliran 1,2 m/s

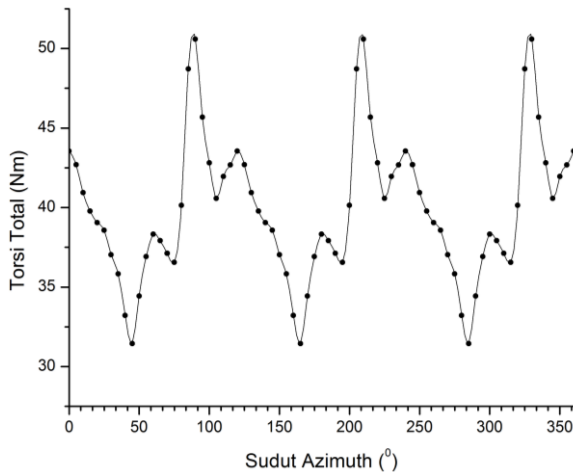
Untuk kecepatan 1,2 m/s, gaya dan torsi paling besar pada sudut azimuth 90^0 , 210^0 , dan 330^0 , yaitu 40,0148 N untuk gaya dan 17,3131 Nm untuk nilai torsi. Sedangkan untuk nilai gaya dan torsi terendah berada pada saat sudut azimuth 45^0 , 165^0 , dan 285^0 , dengan nilai gaya sebesar 29,2276 N dan nilai torsi sebesar 17,7107 Nm.

4.3.3. Pola Perubahan Gaya dan Torsi pada Kecepatan Aliran 1,6 m/s

Pada kecepatan 1,6 m/s juga dilakukan pengambilan data gaya dan torsi seperti yang telah dilakukan pada variasi kecepatan yang sebelumnya. Dari hasil simulasi didapatkan nilai gaya dan torsi tertinggi pada sudut azimuth 90^0 , 210^0 , dan 330^0 , dengan nilai gaya sebesar 86,7356 N dan nilai torsi sebesar 50,5919 Nm, sedangkan nilai gaya dan torsi terkecil didapatkan pada sudut azimuth 45^0 , 165^0 , dan 265^0 , dengan nilai gaya 51,9104 N dan nilai torsi 31,4439 Nm. Grafik pola perubahan gaya dan torsi untuk kecepatan aliran 1,6 m/s seperti tampak pada gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.5 Pola perubahan gaya pada kecepatan aliran 1,6 m/s



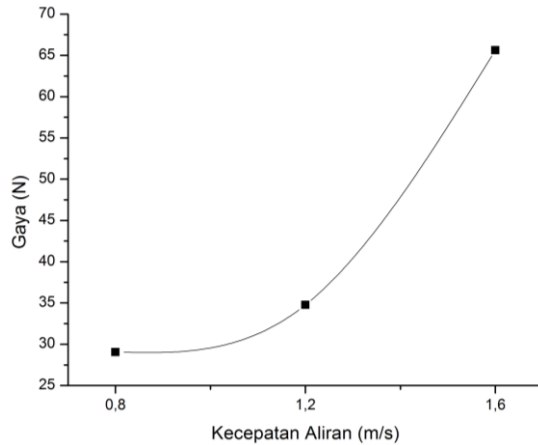
Gambar 4.6 Pola perubahan torsi pada kecepatan aliran 1,6 m/s

4.3.4. Pengaruh Perubahan Kecepatan Aliran Terhadap Nilai Gaya dan Torsi

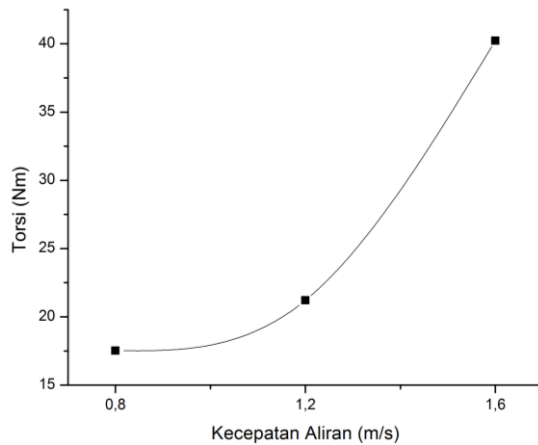
Salah satu parameter yang mempengaruhi performansi turbin adalah kecepatan aliran air. Oleh karena itu pada penelitian ini diberikan variasi kecepatan aliran air, yaitu 0,8 m/s, 1,2 m/s, dan 1,6 m/s. Adanya peningkatan kecepatan aliran air menyebabkan peningkatan kecepatan sudut turbin. Selain itu, terlihat bahwa nilai gaya dan torsi yang dihasilkan mengalami peningkatan ketika kecepatan aliran air semakin besar. Hal tersebut dibuktikan dengan grafik pada gambar 4.7.

Pada kecepatan aliran 0,8 m/s nilai gaya rata – rata pada turbin adalah 29,0673 N. Ketika kecepatan aliran dinaikkan menjadi 1,2 m/s, nilai gaya naik menjadi 34,7769 N dan pada kecepatan aliran 1,6 m/s, nilai gaya menjadi 65,6328 N.

Peningkatan nilai gaya akan menyebabkan peningkatan nilai torsi. Hal ini sesuai dengan persamaan 2.3, dimana torsi didapatkan dari hasil perkalian gaya dengan lengan gaya, dalam hal ini lengan gaya adalah lengan turbin dengan nilai sama dengan jari – jari turbin. Grafik peningkatan nilai torsi terhadap kecepatan aliran ditunjukkan oleh gambar 4.8.



Gambar 4.7 Peningkatan nilai gaya terhadap kecepatan aliran air

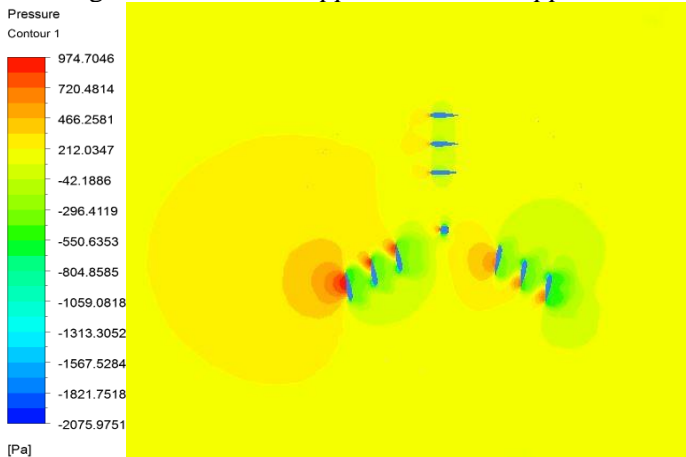


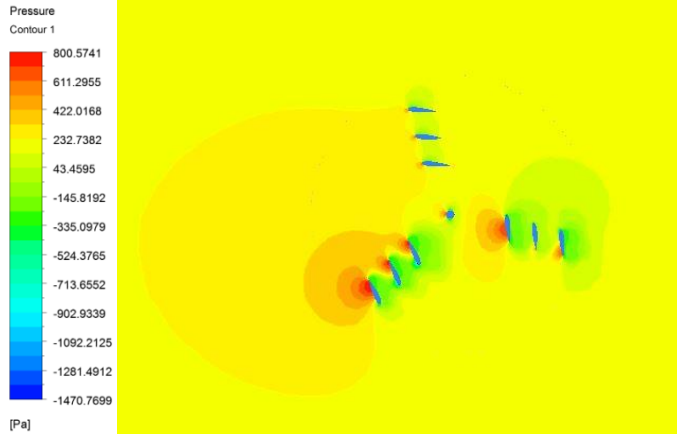
Gambar 4.8 Peningkatan nilai torsi terhadap kecepatan aliran air

Torsi rata – rata pada kecepatan aliran 0,8 m/s bernilai 17,5268 Nm. Nilai torsi kemudian meningkat pada kecepatan aliran 1,2 m/s menjadi 21,2126 Nm. Kemudian nilai torsi menjadi 40,2338 Nm ketika kecepatan aliran dinaikkan menjadi 1,6 m/s.

4.4. Karakteristik Aliran yang Melalui Turbin

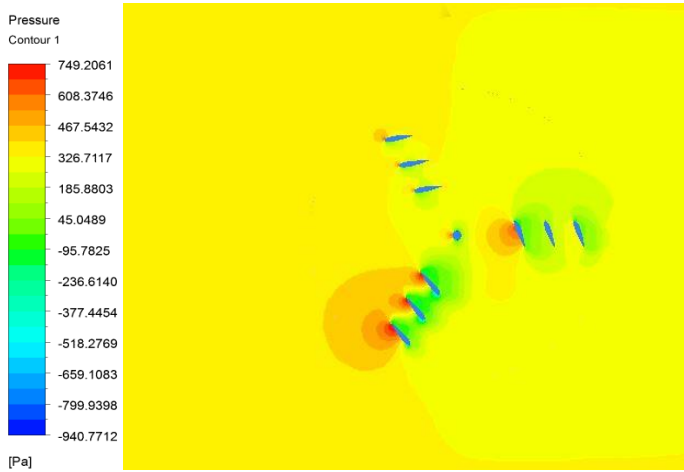
Salah satu hal yang menjadi keunggulan dari simulasi adalah karena kita dapat melihat profil aliran yang tidak dapat dilakukan ketika eksperimen. Untuk penelitian ini, dilakukan pengambilan data kontur tekanan dan *streamline* kecepatan untuk mengetahui persebaran tekanan dan pola aliran yang terjadi di sekitar turbin. Gambar 4.9 sampai Gambar 4.12 berikut menggambarkan pola persebaran tekanan pada sudut azimuth yang diamati dalam penelitian ini. Pada masing – masing gambar yang ada pada gambar 4.9 sampai gambar 4.12, dapat juga diketahui posisi *blade* pada masing – masing sudut azimuth yang dipengaruhi oleh sudut *pitch* akibat penggunaan mekanisme *passive variable – pitch*, dimana ketika *blade* berada pada sudut azimuth antara 0^0 sampai 200^0 *blade* akan bergerak 20^0 menuju *inner stopper*. Sedangkan ketika *blade* berada pada sudut azimuth antara 200^0 sampai 0^0 *blade* akan bergerak 20^0 menuju *outer stopper*. Dan ketika *blade* berada tepat pada sudut azimuth 0^0 dan 200^0 , posisi *blade* berada tepat di tengah antara *inner stopper* dan *outer stopper*.



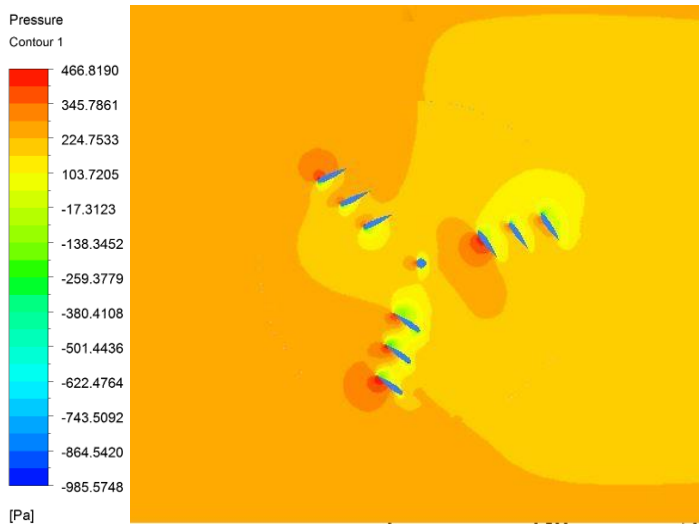


(b)

Gambar 4.9 Kontur tekanan pada sudut azimuth: (a) 0^0 dan (b) 15^0

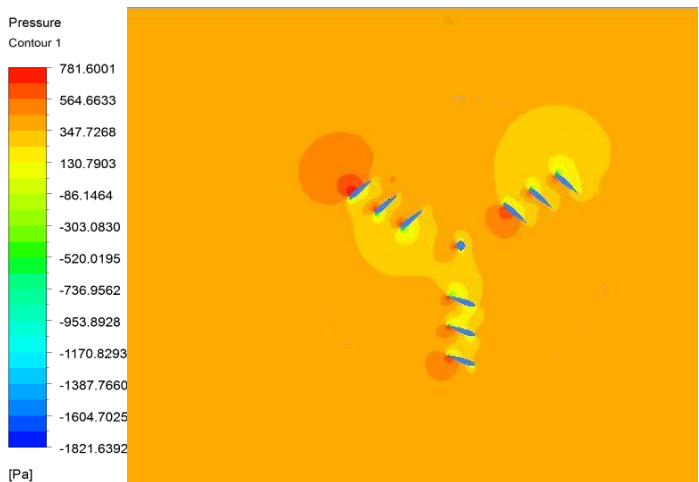


(a)

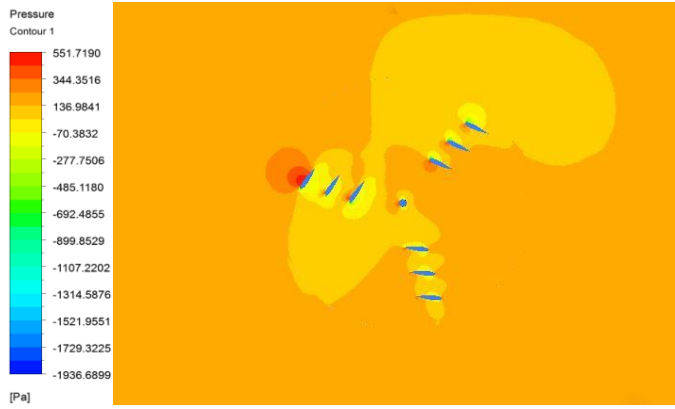


(b)

Gambar 4.10 Kontur tekanan pada sudut azimuth: (a)30⁰ dan (b)45⁰

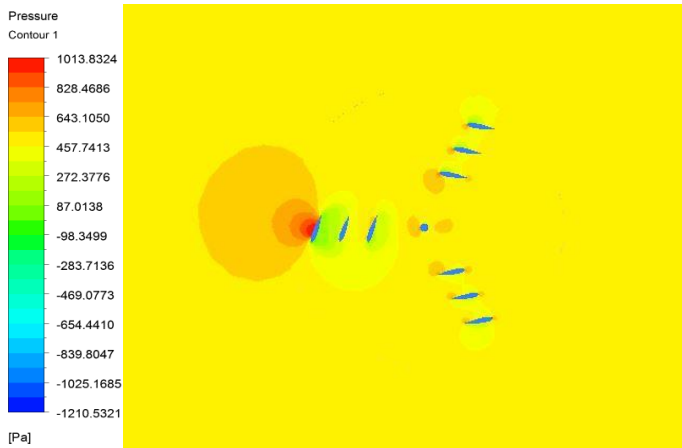


(a)

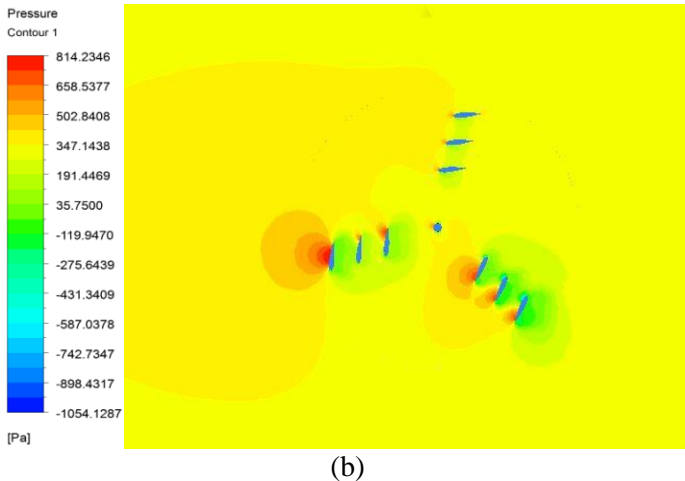


(b)

Gambar 4.11 Kontur tekanan pada sudut azimuth: (a) 60° dan
(b) 75°



(a)

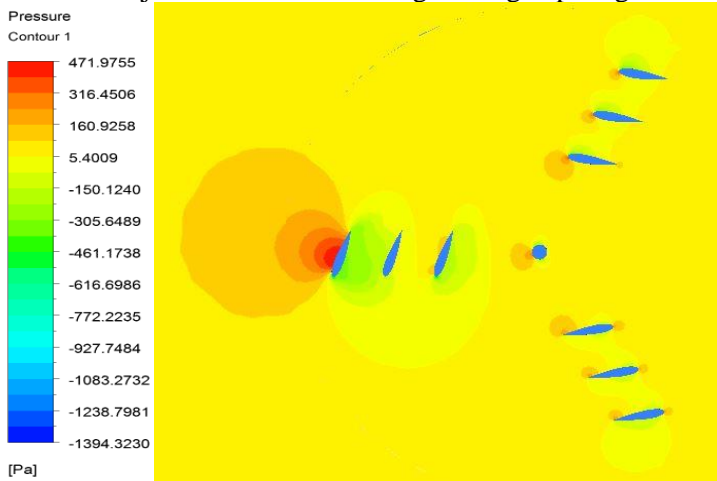


Gambar 4.12 Kontur tekanan pada sudut azimuth: (a) 90^0 dan (b) 115^0

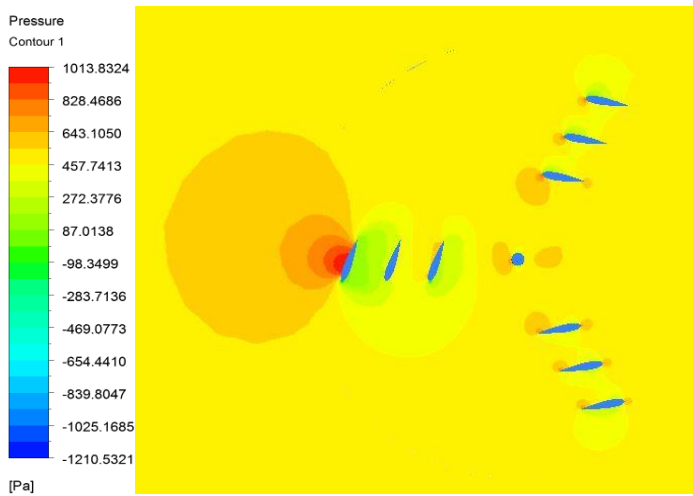
Warna – warna yang tampak pada gambar diatas menggambarkan nilai tekanan. Sesuai dengan skala yang terdapat disamping gambar setiap kontur, digambarkan bahwa semakin besar tekanannya, warna pola kontur akan cenderung berwarna merah dan semakin kecil nilai tekanan, warna pola kontur akan cenderung berwarna biru.

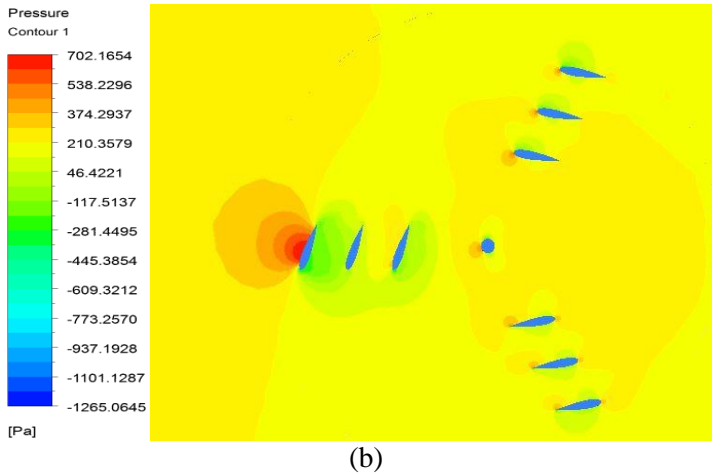
Pada gambar 4.13 dan gambar 4.14, ditampilkan kontur tekanan pada sudut azimuth 90^0 dari bagian atas, tengah, dan bawah. Pada sudut ini, nilai gaya dan torsi yang dihasilkan paling besar dibandingkan sudut yang lain. Terlihat bahwa pada daerah yang paling dekat dengan setiap *blade* dan *shaft* terjadi perubahan tekanan. Tekanan mengalami kenaikan ketika mendekati turbin, kemudian kembali naik setelah melewati turbin. Untuk posisi sudut azimuth 90^0 , tekanan paling besar adalah 1013,8324 Pa dan tekanan paling kecil adalah -1210,5321 Pa. Pengaruh tekanan paling terlihat pada bagian tengah, dimana variasi tekanan di

sekitar turbin lebih terlihat dibandingkan bagian atas dan bawah. Hal ini menunjukkan turbulensi di bagian tengah paling dominan.



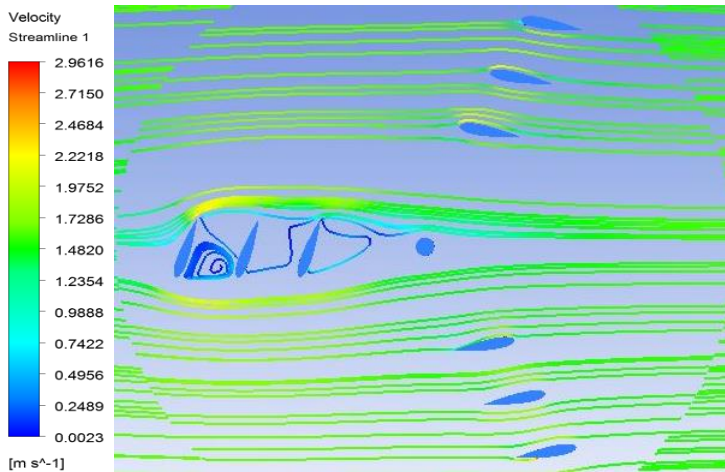
Gambar 4.13 Kontur tekanan pada sudut azimuth 90^0 diambil dari kedalaman 0,9 m dari permukaan air





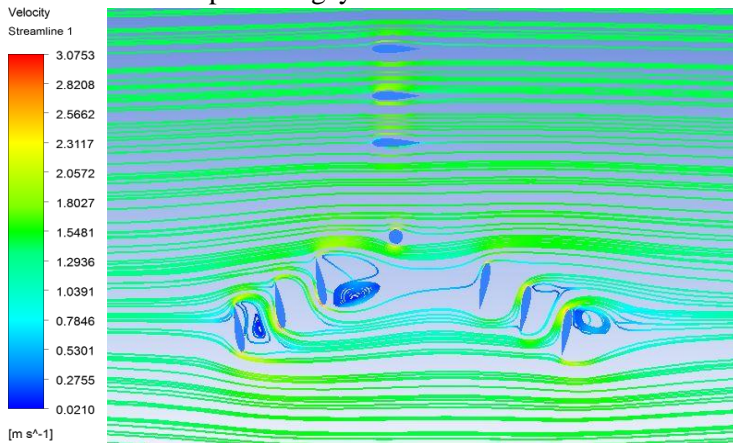
Gambar 4.14 Kontur tekanan pada sudut azimuth 90° diambil dari kedalaman: (a) 0,6 m dari permukaan air dan (b) 0,3 m dari permukaan air

Selain terjadi perubahan tekanan juga terjadi penurunan kecepatan aliran di sekitar turbin, seperti tampak pada gambar 4.15 berikut.

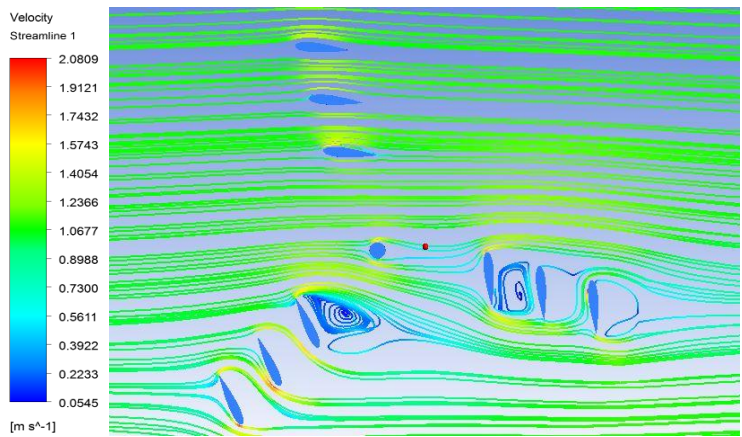


Gambar 4.15 Pola kecepatan aliran pada sudut azimuth 90°

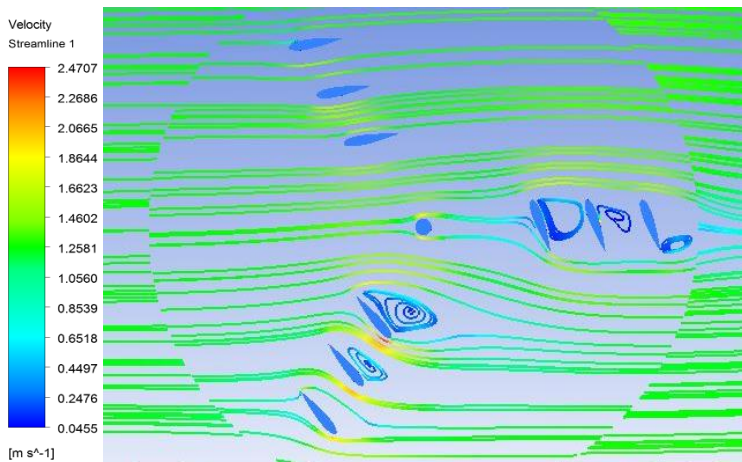
Pada sudut azimuth 90^0 , terjadi penurunan kecepatan aliran yang paling signifikan saat sebelum melewati *blade* dan sesudah melewati *blade*. Penurunan kecepatan aliran terjadi di belakang setiap *blade*, yang ditandai dengan garis berwarna biru. Kecepatan aliran tertinggi yang melewati turbin pada sudut azimuth 90^0 adalah 2,9616 m/s dan kecepatan aliran terendah adalah 0,0023 m/s yang terjadi dibelakang *blade* lengan ketiga (posisi sudut azimuth 285^0). Gambar 4.16 sampai gambar 4.19 menggambarkan *streamline* kecepatan pada setiap sudut azimuth yang diamati dalam penelitian ini. Seperti halnya pada gambar 4.9 – 4.12, pada gambar 4.16 – 4.19 juga menampilkan posisi *blade* pada setiap sudut azimuth, dimana tampak bahwa pada sudut azimuth 90^0 , posisi *blade* merupakan posisi terbaik yang memungkinkan seluruh permukaan *blade* mengalami kontak dengan air sehingga pada posisi tersebut didapat nilai gaya dan torsi terbesar.

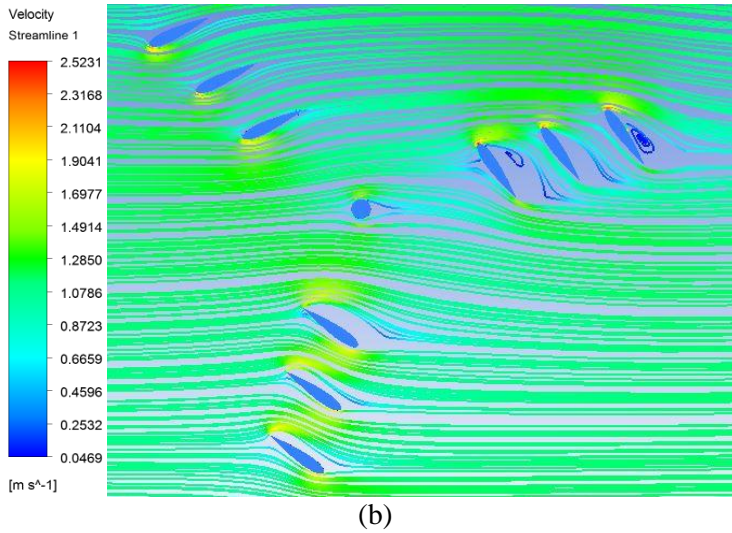


(a)

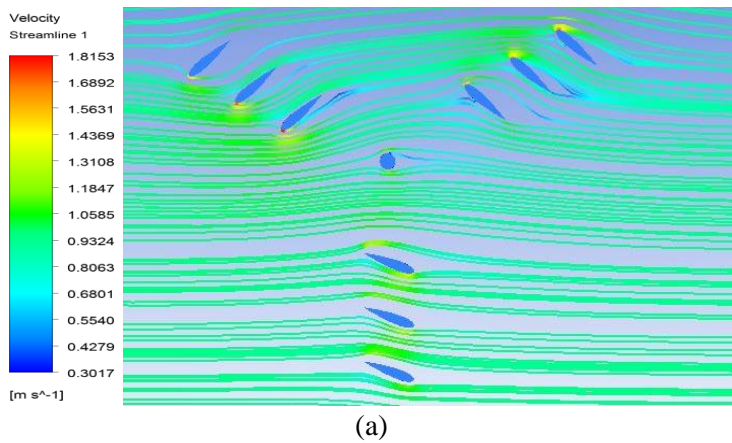


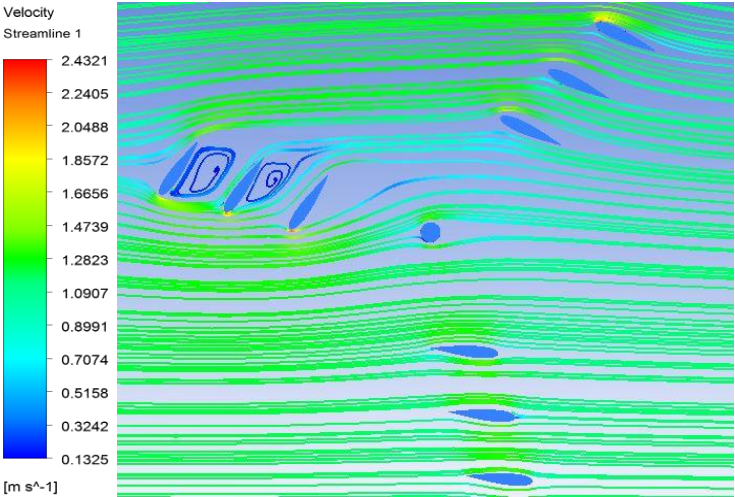
Gambar 4.16 Pola kecepatan aliran yang melalui turbin pada sudut azimuth (a)0⁰ dan (b)15⁰





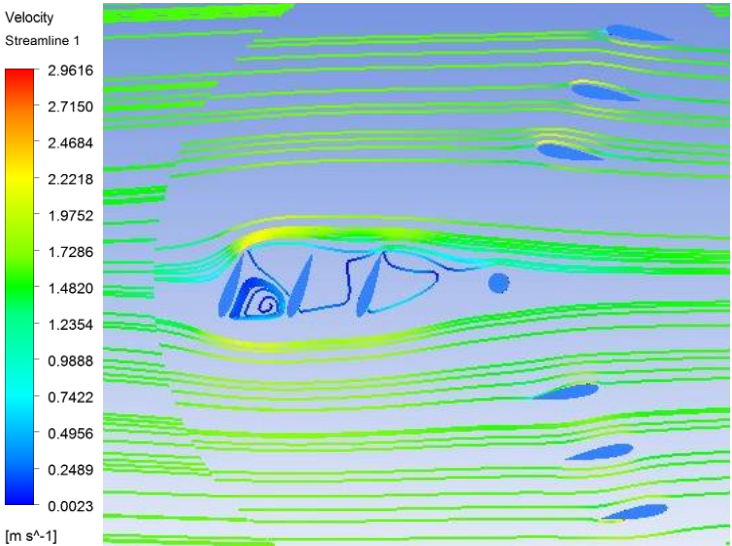
Gambar 4.17 Pola kecepatan aliran air yang melalui turbin pada sudut azimuth (a)30⁰ dan (b)45⁰



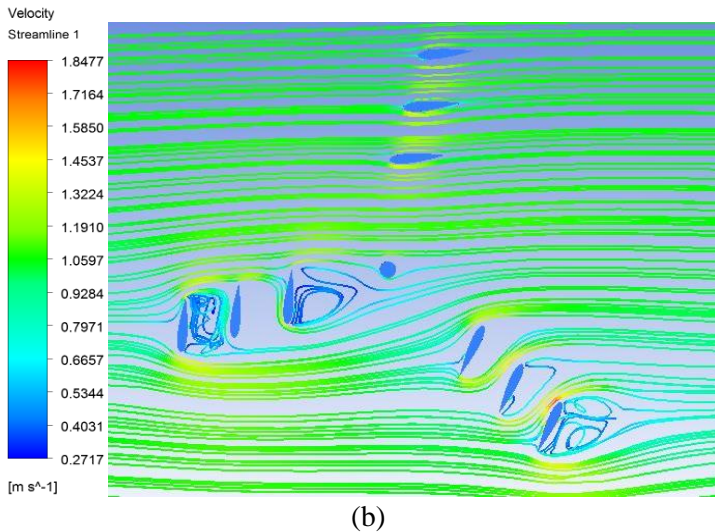


(b)

Gambar 4.18 Pola kecepatan aliran air yang melalui turbin pada sudut azimuth (a)60⁰ dan (b)75⁰



(a)



Gambar 4.19 Pola kecepatan aliran yang melalui turbin pada sudut azimuth (a) 90° dan (b) 105°

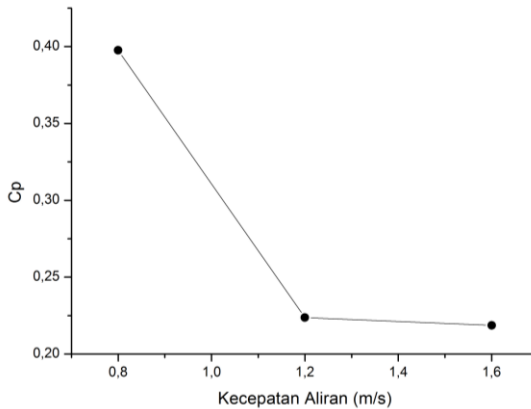
4.5. Performansi Turbin

Performansi turbin biasa dinyatakan dalam koefisien performansi turbin atau biasa disebut C_p . C_p merupakan perbandingan daya yang dihasilkan turbin dengan daya yang tersedia atau daya yang dimiliki oleh air. Dari C_p dapat dilihat kemampuan turbin dalam mengekstrak energi dari air. Dari hasil perhitungan dengan persamaan (2.10), didapatkan nilai C_p seperti pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Nilai C_p pada Setiap Variasi Kecepatan Aliran

Kecepatan Aliran (m/s)	C_p	Efisiensi (%)
0,8	0,3976	39,76
1,2	0,2238	22,38
1,6	0,2187	21,87

Pada gambar 4.20 ditampilkan grafik nilai C_p pada kecepatan 0,8 m/s, 1,2 m/s, dan 1,6 m/s

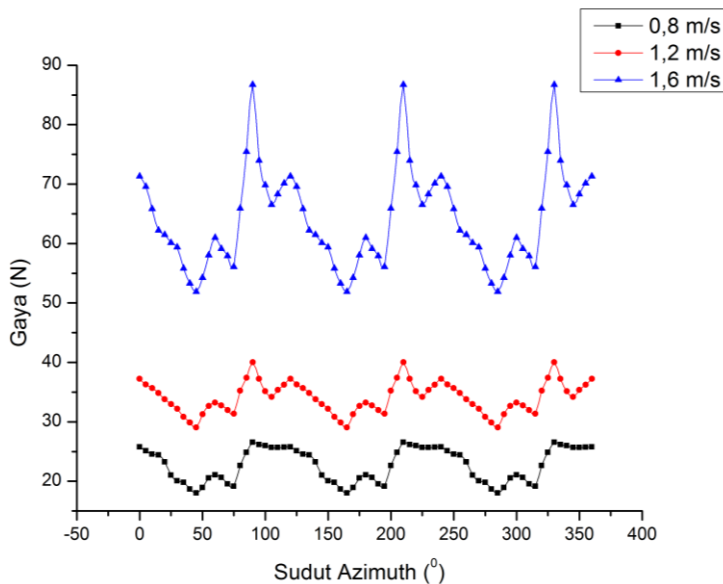


Gambar 4.20 Grafik nilai koefisien performansi turbin (C_p) terhadap kecepatan aliran air

Dari grafik pada gambar 4.20, terlihat bahwa C_p paling tinggi didapat ketika kecepatan aliran air sebesar 0,8 m/s. Nilai C_p terus mengalami penurunan pada kecepatan 1,2 m/s dan 1,6 m/s.

4.6. Pembahasan

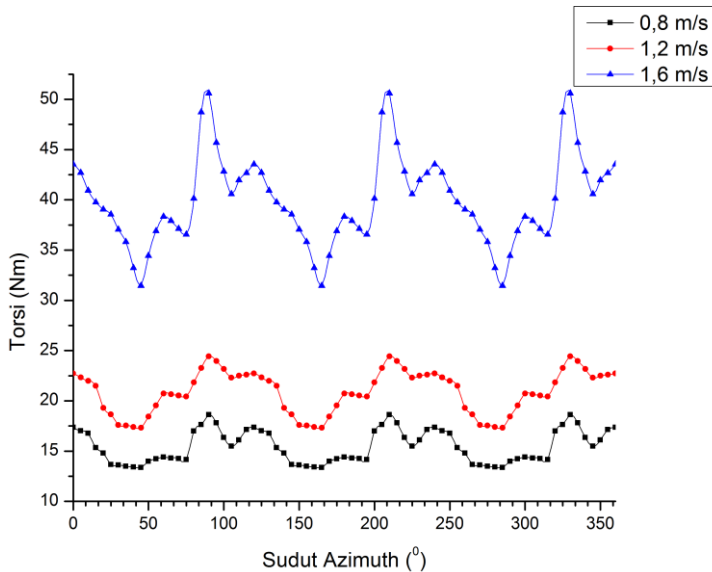
Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, dari ketiga variasi kecepatan didapatkan bahwa nilai gaya paling optimal didapatkan pada posisi sudut azimuth 90^0 , 210^0 , dan 330^0 , seperti ditunjukkan grafik pada gambar 4.21.



Gambar 4.21 Grafik perubahan gaya pada kecepatan 0,8 m/s, 1,2 m/s, dan 1,6 m/s

Karena pada sudut azimuth 90^0 , 210^0 dan 330^0 , posisi *blade* pada sudut tersebut memungkinkan terjadinya kontak antara permukaan *blade* dengan air yang paling luas. Semakin besar luas area sapuan, akan semakin besar pula gaya yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan persamaan (2.4), dimana nilai gaya berbanding lurus dengan luas permukaan. Dan sesuai dengan persamaan mengenai torsi seperti pada persamaan (2.3), peningkatan gaya akan disertai dengan peningkatan torsi, karena torsi didapat dari perkalian nilai gaya dengan lengan gaya (dalam hal ini yang dimaksud adalah lengan turbin), dimana torsi berbanding lurus dengan gaya. Selain itu, nilai gaya dan torsi mengalami peningkatan seiring dengan adanya peningkatan kecepatan aliran air. Sesuai dengan persamaan (2.4) dan (2.5), nilai gaya dan torsi turbin berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan aliran air. Sehingga semakin besar kecepatan

aliran, akan semakin besar nilai gaya dan torsi yang dihasilkan turbin.



Gambar 4.22 Grafik perubahan torsi pada kecepatan 0,8 m/s, 1,2 m/s, dan 1,6 m/s

Selain meninjau dari nilai gaya dan torsi, dilakukan pula analisa berdasarkan kontur tekanan dan *streamline* kecepatan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana distribusi tekanan serta pola kecepatan aliran yang terjadi disekitar turbin yang menjadi penyebab didapatkannya nilai gaya dan torsi seperti yang telah dibahas sebelumnya. Bila dilihat dari kontur tekanan seperti pada gambar 4.9 sampai 4.12, terlihat bahwa tekanan mengalami peningkatan sebelum aliran air melewati *blade*. Peningkatan tekanan ini diikuti dengan adanya penurunan kecepatan aliran saat mengenai turbin. Hal ini sesuai dengan hukum bernoulli, dimana nilai tekanan berbanding terbalik dengan kecepatan. Dan bila dilihat secara keseluruhan, kecepatan aliran yang telah melewati turbin dengan *passive variable pitch* lebih cepat stabil. Hal ini

menunjukkan bahwa penggunaan *passive variable pitch* dapat memperkecil daerah *near wake*.

Selanjutnya untuk mempermudah menilai performansi turbin, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai C_p . Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 4.5, C_p merupakan bilangan non dimensional yang menyatakan kemampuan turbin dalam menghasilkan energi yang didapat dari ekstraksi daya air. Semakin besar nilai C_p akan semakin baik performansi turbin tersebut. Berdasarkan standar yang biasa disebut dengan Betz limit, performansi turbin jenis vertikal aksis paling optimal adalah dengan efisiensi sebesar 59.3%. Dari hasil simulasi ini, didapatkan nilai C_p tertinggi sebesar 0,3976 atau dapat dikatakan efisiensinya adalah 39,76%. Nilai tersebut didapat pada kecepatan aliran 0,8 m/s. Selanjutnya terjadi penurunan performansi bila dibandingkan dengan nilai C_p pada saat kecepatan aliran 0,8 m/s, yaitu sebesar 0,2238 pada kecepatan aliran 1,2 m/s dan 0,2187 pada kecepatan aliran 1,6 m/s. Meninjau dari hasil penelitian sebelumnya oleh Seno Widya Manggala pada 2016, performansi yang didapat juga mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kecepatan aliran air, yang dibuktikan dengan penurunan nilai C_p . Penurunan performansi ini menandakan bahwa turbin telah melewati batas maksimal kemampuan untuk melakukan ekstraksi energi. Selain itu, performansi yang didapatkan pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan hasil penelitian sebelumnya, dimana pada penelitian sebelumnya *passive variable pitch* hanya digunakan pada *blade* terluar turbin Darrieus *cascade*. Sedangkan pada penelitian ini semua *blade* menggunakan *passive variable pitch*. Seperti pada saat kecepatan 1,2 m/s, dari hasil penelitian Seno didapatkan nilai C_p sebesar 0,35 sedangkan dari hasil penelitian ini nilai C_p yang didapatkan adalah 0,2138. Adanya penurunan performansi ini disebabkan karena penggunaan *passive variable pitch* berdampak pada nilai *peak efficiency* yang cenderung turun, seperti yang disebutkan dalam hasil penelitian M. A. Singh dkk.

Maka, bila melihat dari hasil perhitungan performansi pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa performansi terbaik untuk turbin hidrokinetik Darrieus sumbu vertikal yang disusun secara

cascade dengan *passive variable pitch* adalah pada kecepatan aliran rendah, yaitu 0,8 m/s dengan nilai C_p 0,3976 atau efisiensi 39,76%. Dan performansi tersebut akan turun seiring dengan kenaikan kecepatan aliran. Atau dapat dikatakan bahwa turbin hidrokinetik Darrieus sumbu vertikal yang disusun secara *cascade* dengan *passive variable pitch* lebih cocok untuk diaplikasikan pada perairan dengan kecepatan aliran rendah.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, analisa, dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Penggunaan mekanisme *passive variable pitch* pada turbin hidrokinetik Darrieus sumbu vertikal dengan susunan *cascade* dapat meningkatkan nilai torsi dan gaya turbin seiring dengan kenaikan nilai kecepatan aliran, dengan nilai torsi dan gaya terbesar didapat pada kecepatan aliran 1,6 m/s, yaitu 86,7356 N untuk gaya dan 50,5919 Nm untuk torsi
- b. Performansi terbaik dari turbin hidrokinetik Darrieus sumbu vertikal yang disusun secara *cascade* dengan *passive variable pitch* didapatkan pada kecepatan aliran 0,8 m/s, yaitu dengan nilai C_p 0,3976 atau efisiensi 39,76%, dan akan turun seiring dengan semakin besarnya kecepatan aliran
- c. Turbin hidrokinetik Darrieus sumbu vertikal dengan susunan *cascade* yang menggunakan mekanisme *passive variable pitch* lebih sesuai untuk diaplikasikan pada kecepatan aliran rendah.

5.2. Saran

Adapun saran yang diberikan terkait penelitian ini untuk pengembangan selanjutnya adalah:

- a. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, perlu dilakukan pengambilan data torsi dan gaya pada sudut azimuth yang lebih banyak, seperti setiap 5^0
- b. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menganalisis *wake* yang terjadi pada aliran disekitar turbin Darrieus sumbu vertikal yang menggunakan mekanisme *passive variable – pitch* dan disusun secara *cascade*.

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abbot, K. W. (1982). *Performance and Evaluation of a Variable - Speed Darrieus Wind Turbine*. South Dakota: South Dakota State University.
- Amarta, Z. (2016). *Analisis Pengaruh Jumlah Foil terhadap Performansi Turbin Arus Air Vertikal Aksis Jenis Helical dengan Cascade Foil Berbasis CFD*. Surabaya: Teknik Fisika ITS.
- Argaputra, R. R., Firdausy, C. N., Yuwono, R. A., Izdiharudin, M. F., & Aji, A. P. (2017). *Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Blade Pada Turbin Darrieus Cascade Passive Pitch Guna Meningkatkan Efisiensi Turbin Hidrokinetik*. Surabaya: ITS.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. New York: McGraw-Hill.
- DeCoste, J., Smith, A., White, D., Berkvens, D., & Crawford, J. (2004). *Self - Starting Darrieus Wind Turbine*. Halifax: Dalhousie University.
- Dewan Energi Nasional. (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*. Jakarta: Dewan Energi Nasional.
- Fleisinger, M., Vesenjak, M., & Hribersek, M. (2014). Flow Driven Analysis of a Darrieus Water Turbine. *Journal of Mechanical Engineering*, 60(12), 769-776.
- Hantoro, R., Utama, I., Erwandi, & Sulisetyono, A. (2011). An Experimental Investigation of Passive Variable-Pitch Vertical-Axis Ocean Current Turbine. *ITB Journal of Engineering and Science*, 43(1), 27-40.
- Imanuddin, F. (2016). *Studi Numerik Pengaruh Jumlah Hydrofoil Terhadap Karakteristik Turbin Arus Laut Vertikal aksis Jenis Straight Blade Berbasis Computational Fluid Dynamics*. Surabaya: Teknik Fisika ITS.
- Jaini, Kaprawi, & Santoso, D. (2015). Darrieus Water turbine Performance Configuration of Blade. *Journal of Mechanical Science and Engineering*, 2(1), 7-11.

- Khalid, S. S., Liang, Z., Qi-hu, S., & Xue-Wei, Z. (2013). Difference Between Fixed and Variable Pitch Vertical Axis Tidal Turbine Using CFD Analysis in CFX. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering, and Technology*, 319-325.
- Lee, Y.-T., & Lim, H.-C. (2015). Numerical Study of the Aerodynamic Performance of a 500 W Darrieus-Type Vertical-Axis Wind Turbine. *Renewable Energy*, 83, 407-415.
- Manggala, S. W. (2016). *Rancang Bangun Turbin Arus Laut Sumbu Vertikal Straight Blade Cascade untuk Mengetahui Pengaruh Variasi Jumlah Blade Terhadap Efisiensi Turbin*. ITS, Jurusan Teknik Fisika. Surabaya: Teknik Fisika ITS.
- Niblick, A. L. (2012). *Experimental and Analytical Study of Helical Cross-Flow Turbines for a Tidal Micropower Generation System*. Washington: University of Washington.
- Shiono, M., Suzuki, K., & Kiho, S. (2002). Output Characteristics of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations. *Proceeding of the 12th International Offshore and Polar Engineering Conference*. 12, pp. 859-864. Kitakyushu, Japan: The International Society of Offshore and Polar Engineers.
- Susilo. (2014). *Simulasi Mekanisme Passive-Pitch dengan Flapping Wing pada Turbin Vertikal Aksis Arus Sungai Jenis Darrieus Straight-Bladed Berbasis CFD*. Surabaya: Teknik Fisika ITS.
- Winchester, J., & Quayle, S. (2009). Torque Ripple and Variable Blade Force: A Comparison of Darrieus and Gorlov-Type Turbines for Tidal Stream Energy Conversion. *The 8th European Wave and Tidal Energy Conference* (pp. 668-676). Uppsala, Sweden: Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference.

"Halaman ini memang dikosongkan"

LAMPIRAN

Data nilai gaya pada kecepatan aliran air 0,8 m/s

Sudut Azimuth	Foil 1a			Foil 1b			Foil 1c			Foil 2a			Foil 2b			Foil 2c		
	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)
0	-1.5080	0.1334	1.5139	-0.8699	-0.2520	0.9057	1.8470	-3.2210	3.7130	-0.8374	-1.2500	1.5046	-1.6710	-2.3640	2.8950	3.5900	-5.1130	6.2475
15	1.9700	0.1148	1.9733	2.1440	0.2864	2.1630	6.5240	3.7410	7.5205	0.2308	-0.3251	0.3987	-0.6046	-1.0050	1.1728	0.9035	-0.8943	1.2713
30	-0.2327	-0.1120	0.2583	-1.2630	0.0194	1.2631	2.6530	-1.1800	2.9036	-0.9201	-1.9260	2.1345	0.7825	-3.1750	3.2700	0.3771	-2.2690	2.3001
45	-0.9374	0.6150	1.1211	-1.9120	0.5087	1.9785	1.5820	-1.7890	2.3881	-0.3329	-1.2080	1.2530	-1.2430	-1.5780	2.0088	-1.0680	1.4220	1.7784
60	1.1780	0.8247	1.4380	-0.3960	2.3620	2.3950	-0.0778	-3.7200	3.7208	-0.4468	0.0886	0.4555	-0.9965	0.6464	1.1878	1.2200	-0.5206	1.3264
75	0.0769	1.3700	1.3722	-0.6410	1.3700	1.5125	0.0425	-5.0180	5.0182	-0.0408	-0.2044	0.2084	-1.1240	-0.1179	1.1302	2.2390	-0.1179	2.2421
90	-0.8743	0.1870	0.8941	-1.0410	2.3960	2.6124	-0.3068	2.1690	2.1906	-0.3227	0.3598	0.4833	-0.3410	1.2860	1.3304	0.8572	0.2472	0.8921
105	-0.9185	1.0700	1.4102	-2.5830	0.2274	2.5930	2.6390	-3.1520	4.1109	-0.4598	0.0953	0.4696	-0.7786	-0.7789	1.1013	2.5370	-1.3780	2.8871
120	-1.5080	0.1334	1.5139	-0.8699	-0.2520	0.9057	1.8470	-3.2210	3.7130	-0.8374	-1.2500	1.5046	-1.6710	-2.3640	2.8950	3.5900	-5.1130	6.2475
135	1.9700	0.1148	1.9733	2.1440	0.2864	2.1630	6.5240	3.7410	7.5205	0.2308	-0.3251	0.3987	-0.6046	-1.0050	1.1728	0.9035	-0.8943	1.2713
150	-0.2327	-0.1120	0.2583	-1.2630	0.0194	1.2631	2.6530	-1.1800	2.9036	-0.9201	-1.9260	2.1345	0.7825	-3.1750	3.2700	0.3771	-2.2690	2.3001
165	-0.9374	0.6150	1.1211	-1.9120	0.5087	1.9785	1.5820	-1.7890	2.3881	-0.3329	-1.2080	1.2530	-1.2430	-1.5780	2.0088	-1.0680	1.4220	1.7784
180	1.1780	0.8247	1.4380	-0.3960	2.3620	2.3950	-0.0778	-3.7200	3.7208	-0.4468	0.0886	0.4555	-0.9965	0.6464	1.1878	1.2200	-0.5206	1.3264
195	0.0769	1.3700	1.3722	-0.6410	1.3700	1.5125	0.0425	-5.0180	5.0182	-0.0408	-0.2044	0.2084	-1.1240	-0.1179	1.1302	2.2390	-0.1179	2.2421
210	-0.8743	0.1870	0.8941	-1.0410	2.3960	2.6124	-0.3068	2.1690	2.1906	-0.3227	0.3598	0.4833	-0.3410	1.2860	1.3304	0.8572	0.2472	0.8921
225	-0.9185	1.0700	1.4102	-2.5830	0.2274	2.5930	2.6390	-3.1520	4.1109	-0.4598	0.0953	0.4696	-0.7786	-0.7789	1.1013	2.5370	-1.3780	2.8871
240	-1.5080	0.1334	1.5139	-0.8699	-0.2520	0.9057	1.8470	-3.2210	3.7130	-0.8374	-1.2500	1.5046	-1.6710	-2.3640	2.8950	3.5900	-5.1130	6.2475
255	1.9700	0.1148	1.9733	2.1440	0.2864	2.1630	6.5240	3.7410	7.5205	0.2308	-0.3251	0.3987	-0.6046	-1.0050	1.1728	0.9035	-0.8943	1.2713
270	-0.2327	-0.1120	0.2583	-1.2630	0.0194	1.2631	2.6530	-1.1800	2.9036	-0.9201	-1.9260	2.1345	0.7825	-3.1750	3.2700	0.3771	-2.2690	2.3001
285	-0.9374	0.6150	1.1211	-1.9120	0.5087	1.9785	1.5820	-1.7890	2.3881	-0.3329	-1.2080	1.2530	-1.2430	-1.5780	2.0088	-1.0680	1.4220	1.7784
300	1.1780	0.8247	1.4380	-0.3960	2.3620	2.3950	-0.0778	-3.7200	3.7208	-0.4468	0.0886	0.4555	-0.9965	0.6464	1.1878	1.2200	-0.5206	1.3264
315	0.0769	1.3700	1.3722	-0.6410	1.3700	1.5125	0.0425	-5.0180	5.0182	-0.0408	-0.2044	0.2084	-1.1240	-0.1179	1.1302	2.2390	-0.1179	2.2421
330	-0.8743	0.1870	0.8941	-1.0410	2.3960	2.6124	-0.3068	2.1690	2.1906	-0.3227	0.3598	0.4833	-0.3410	1.2860	1.3304	0.8572	0.2472	0.8921
345	-0.9185	1.0700	1.4102	-2.5830	0.2274	2.5930	2.6390	-3.1520	4.1109	-0.4598	0.0953	0.4696	-0.7786	-0.7789	1.1013	2.5370	-1.3780	2.8871
360	-1.5080	0.1334	1.5139	-0.8699	-0.2520	0.9057	1.8470	-3.2210	3.7130	-0.8374	-1.2500	1.5046	-1.6710	-2.3640	2.8950	3.5900	-5.1130	6.2475

Sudut Azimuth	Foil 3a			Foil 3b			Foil 3c			Shaft			Total (N)
	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	
0	1.8940	0.3578	1.9275	1.8560	1.7890	2.5778	3.5900	-2.7070	4.4962	-0.2581	0.1402	0.2937	25.7811
15	-0.0308	-1.9330	1.9332	-1.1120	-1.6350	1.9773	-5.7130	-1.9150	6.0254	0.3170	0.3282	0.4563	24.4356
30	0.5497	2.0190	2.0925	3.2000	2.0220	3.7853	0.3771	-2.0390	2.0736	-0.2726	0.1950	0.3352	20.0810
45	1.7110	0.3171	1.7401	0.7802	2.3070	2.4354	-1.0680	-3.1400	3.3167	-0.3139	0.1149	0.3343	18.0201
60	1.2020	-0.9244	1.5164	6.1970	-1.4240	6.3585	1.2200	-2.3930	2.6860	0.0208	0.0380	0.0433	21.0844
75	0.1330	0.0782	0.1543	3.7170	0.7937	3.8008	2.2390	-2.9500	3.7035	-0.1873	0.1580	0.2450	19.1421
90	3.6430	-0.6729	3.7046	4.1120	-3.1900	5.2043	5.5160	-7.3990	9.2288	0.0416	0.0137	0.0438	26.5407
105	3.1220	0.9422	3.2611	5.7200	0.6039	5.7518	2.5370	-3.1890	4.0751	-0.1896	0.1744	0.2576	25.6599
120	1.8940	0.3578	1.9275	1.8560	1.7890	2.5778	3.5900	-2.7070	4.4962	-0.2581	0.1402	0.2937	25.7811
135	-0.0308	-1.9330	1.9332	-1.1120	-1.6350	1.9773	-5.7130	-1.9150	6.0254	0.3170	0.3282	0.4563	24.4356
150	0.5497	2.0190	2.0925	3.2000	2.0220	3.7853	0.3771	-2.0390	2.0736	-0.2726	0.1950	0.3352	20.0810
165	1.7110	0.3171	1.7401	0.7802	2.3070	2.4354	-1.0680	-3.1400	3.3167	-0.3139	0.1149	0.3343	18.0201
180	1.2020	-0.9244	1.5164	6.1970	-1.4240	6.3585	1.2200	-2.3930	2.6860	0.0208	0.0380	0.0433	21.0844
195	0.1330	0.0782	0.1543	3.7170	0.7937	3.8008	2.2390	-2.9500	3.7035	-0.1873	0.1580	0.2450	19.1421
210	3.6430	-0.6729	3.7046	4.1120	-3.1900	5.2043	5.5160	-7.3990	9.2288	0.0416	0.0137	0.0438	26.5407
225	3.1220	0.9422	3.2611	5.7200	0.6039	5.7518	2.5370	-3.1890	4.0751	-0.1896	0.1744	0.2576	25.6599
240	1.8940	0.3578	1.9275	1.8560	1.7890	2.5778	3.5900	-2.7070	4.4962	-0.2581	0.1402	0.2937	25.7811
255	-0.0308	-1.9330	1.9332	-1.1120	-1.6350	1.9773	-5.7130	-1.9150	6.0254	0.3170	0.3282	0.4563	24.4356
270	0.5497	2.0190	2.0925	3.2000	2.0220	3.7853	0.3771	-2.0390	2.0736	-0.2726	0.1950	0.3352	20.0810
285	1.7110	0.3171	1.7401	0.7802	2.3070	2.4354	-1.0680	-3.1400	3.3167	-0.3139	0.1149	0.3343	18.0201
300	1.2020	-0.9244	1.5164	6.1970	-1.4240	6.3585	1.2200	-2.3930	2.6860	0.0208	0.0380	0.0433	21.0844
315	0.1330	0.0782	0.1543	3.7170	0.7937	3.8008	2.2390	-2.9500	3.7035	-0.1873	0.1580	0.2450	19.1421
330	3.6430	-0.6729	3.7046	4.1120	-3.1900	5.2043	5.5160	-7.3990	9.2288	0.0416	0.0137	0.0438	26.5407
345	3.1220	0.9422	3.2611	5.7200	0.6039	5.7518	2.5370	-3.1890	4.0751	-0.1896	0.1744	0.2576	25.6599
360	1.8940	0.3578	1.9275	1.8560	1.7890	2.5778	3.5900	-2.7070	4.4962	-0.2581	0.1402	0.2937	25.7811

LAMPIRAN B

Data nilai gaya pada kecepatan aliran air 1,2 m/s

Sudut Azimuth	Foil 1a			Foil 1b			Foil 1c			Foil 2a			Foil 2b			Foil 2c		
	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)
0	0.3588	-1.6090	1.6485	-1.1300	1.7040	2.0446	-1.0790	0.9060	1.4089	-1.4220	2.0440	2.4900	0.7033	0.2236	0.7380	-0.3175	-0.4149	0.5224
15	2.3220	0.2051	2.3310	5.1670	1.3600	5.3430	1.0200	0.1023	1.0251	-5.1330	3.7660	6.3664	-2.0560	-0.0498	2.0566	-0.3141	-0.3287	0.4546
30	-0.9000	3.2500	3.3723	3.2800	1.8970	3.7891	-0.8229	0.5212	0.9741	-3.9190	-0.0876	3.9200	-2.5300	0.7348	2.6345	0.4746	-0.1445	0.4961
45	1.2260	1.9030	2.2637	4.3600	3.1360	5.3707	-1.4700	1.2140	1.9065	1.8840	-0.0738	1.8854	2.1210	-0.7305	2.2433	0.3584	-0.0267	0.3594
60	4.6030	1.6380	4.8858	2.8800	2.2310	3.6430	0.9525	0.4490	1.0530	-4.0630	3.2400	5.1967	-0.6344	-1.5090	1.6369	-0.4825	-0.6259	0.7903
75	-1.3350	-0.2282	1.3544	-0.1361	-0.3263	0.3535	-0.1710	-0.6109	0.6344	1.4700	1.2840	1.9518	0.3698	0.4173	0.5576	0.2064	0.4890	0.5308
90	2.9630	0.4877	3.0029	6.5600	0.5993	6.5873	3.5770	2.2320	4.2162	-3.9130	2.8320	4.8303	-0.3418	-1.3070	1.3510	-2.7990	-0.5529	2.8531
105	-0.5926	-3.5030	3.5528	0.9360	3.1010	3.2392	0.8636	1.5140	1.7430	2.0510	1.1040	2.3293	1.4360	1.5720	2.1292	-0.1848	0.9629	0.9805
120	0.3588	-1.6090	1.6485	-1.1300	1.7040	2.0446	-1.0790	0.9060	1.4089	-1.4220	2.0440	2.4900	0.7033	0.2236	0.7380	-0.3175	-0.4149	0.5224
135	2.3220	0.2051	2.3310	5.1670	1.3600	5.3430	1.0200	0.1023	1.0251	-5.1330	3.7660	6.3664	-2.0560	-0.0498	2.0566	-0.3141	-0.3287	0.4546
150	-0.9000	3.2500	3.3723	3.2800	1.8970	3.7891	-0.8229	0.5212	0.9741	-3.9190	-0.0876	3.9200	-2.5300	0.7348	2.6345	0.4746	-0.1445	0.4961
165	1.2260	1.9030	2.2637	4.3600	3.1360	5.3707	-1.4700	1.2140	1.9065	1.8840	-0.0738	1.8854	2.1210	-0.7305	2.2433	0.3584	-0.0267	0.3594
180	4.6030	1.6380	4.8858	2.8800	2.2310	3.6430	0.9525	0.4490	1.0530	-4.0630	3.2400	5.1967	-0.6344	-1.5090	1.6369	-0.4825	-0.6259	0.7903
195	-1.3350	-0.2282	1.3544	-0.1361	-0.3263	0.3535	-0.1710	-0.6109	0.6344	1.4700	1.2840	1.9518	0.3698	0.4173	0.5576	0.2064	0.4890	0.5308
210	2.9630	0.4877	3.0029	6.5600	0.5993	6.5873	3.5770	2.2320	4.2162	-3.9130	2.8320	4.8303	-0.3418	-1.3070	1.3510	-2.7990	-0.5529	2.8531
225	-0.5926	-3.5030	3.5528	0.9360	3.1010	3.2392	0.8636	1.5140	1.7430	2.0510	1.1040	2.3293	1.4360	1.5720	2.1292	-0.1848	0.9629	0.9805
240	0.3588	-1.6090	1.6485	-1.1300	1.7040	2.0446	-1.0790	0.9060	1.4089	-1.4220	2.0440	2.4900	0.7033	0.2236	0.7380	-0.3175	-0.4149	0.5224
255	2.3220	0.2051	2.3310	5.1670	1.3600	5.3430	1.0200	0.1023	1.0251	-5.1330	3.7660	6.3664	-2.0560	-0.0498	2.0566	-0.3141	-0.3287	0.4546
270	-0.9000	3.2500	3.3723	3.2800	1.8970	3.7891	-0.8229	0.5212	0.9741	-3.9190	-0.0876	3.9200	-2.5300	0.7348	2.6345	0.4746	-0.1445	0.4961
285	1.2260	1.9030	2.2637	4.3600	3.1360	5.3707	-1.4700	1.2140	1.9065	1.8840	-0.0738	1.8854	2.1210	-0.7305	2.2433	0.3584	-0.0267	0.3594
300	4.6030	1.6380	4.8858	2.8800	2.2310	3.6430	0.9525	0.4490	1.0530	-4.0630	3.2400	5.1967	-0.6344	-1.5090	1.6369	-0.4825	-0.6259	0.7903
315	-1.3350	-0.2282	1.3544	-0.1361	-0.3263	0.3535	-0.1710	-0.6109	0.6344	1.4700	1.2840	1.9518	0.3698	0.4173	0.5576	0.2064	0.4890	0.5308
330	2.9630	0.4877	3.0029	6.5600	0.5993	6.5873	3.5770	2.2320	4.2162	-3.9130	2.8320	4.8303	-0.3418	-1.3070	1.3510	-2.7990	-0.5529	2.8531
345	-0.5926	-3.5030	3.5528	0.9360	3.1010	3.2392	0.8636	1.5140	1.7430	2.0510	1.1040	2.3293	1.4360	1.5720	2.1292	-0.1848	0.9629	0.9805
360	0.3588	-1.6090	1.6485	-1.1300	1.7040	2.0446	-1.0790	0.9060	1.4089	-1.4220	2.0440	2.4900	0.7033	0.2236	0.7380	-0.3175	-0.4149	0.5224

Sudut Azimuth	Foil 3a			Foil 3b			Foil 3c			Shaft			Total (N)
	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	
0	14.6700	-3.1930	15.0135	9.8370	-0.1182	9.8377	3.4430	0.7877	3.5320	0.4422	-0.1418	0.4644	37.2356
15	-6.2090	-7.8550	10.0126	0.3080	-5.3760	5.3848	1.5360	-1.0650	1.8691	0.4671	0.0612	0.4711	34.8433
30	4.4860	-5.2040	6.8706	6.5120	-0.6314	6.5425	3.5990	0.0701	3.5997	0.1420	-0.0162	0.1429	32.1990
45	-1.8830	-4.5820	4.9538	4.8390	-4.4570	6.5788	1.6200	-3.0760	3.4765	0.1888	0.0159	0.1895	29.0382
60	-5.9020	-0.6488	5.9376	4.4330	-4.6330	6.4122	0.7199	-3.5950	3.6664	0.4329	-0.3509	0.5573	33.2219
75	7.4480	-7.8250	10.8029	7.3770	-4.7940	8.7979	5.7790	-2.7300	6.3914	1.1740	-0.5165	1.2826	31.3746
90	-7.1540	-1.6810	7.3488	-3.3990	-5.3580	6.3452	-2.8500	-1.9970	3.4800	0.3988	0.1365	0.4215	40.0148
105	1.8240	-11.8800	12.0192	3.2260	-2.4540	4.0533	3.2260	-2.5770	4.1289	0.6857	-0.1269	0.6973	34.1752
120	14.6700	-3.1930	15.0135	9.8370	-0.1182	9.8377	3.4430	0.7877	3.5320	0.4422	-0.1418	0.4644	37.2356
135	-6.2090	-7.8550	10.0126	0.3080	-5.3760	5.3848	1.5360	-1.0650	1.8691	0.4671	0.0612	0.4711	34.8433
150	4.4860	-5.2040	6.8706	6.5120	-0.6314	6.5425	3.5990	0.0701	3.5997	0.1420	-0.0162	0.1429	32.1990
165	-1.8830	-4.5820	4.9538	4.8390	-4.4570	6.5788	1.6200	-3.0760	3.4765	0.1888	0.0159	0.1895	29.0382
180	-5.9020	-0.6488	5.9376	4.4330	-4.6330	6.4122	0.7199	-3.5950	3.6664	0.4329	-0.3509	0.5573	33.2219
195	7.4480	-7.8250	10.8029	7.3770	-4.7940	8.7979	5.7790	-2.7300	6.3914	1.1740	-0.5165	1.2826	31.3746
210	-7.1540	-1.6810	7.3488	-3.3990	-5.3580	6.3452	-2.8500	-1.9970	3.4800	0.3988	0.1365	0.4215	40.0148
225	1.8240	-11.8800	12.0192	3.2260	-2.4540	4.0533	3.2260	-2.5770	4.1289	0.6857	-0.1269	0.6973	34.1752
240	14.6700	-3.1930	15.0135	9.8370	-0.1182	9.8377	3.4430	0.7877	3.5320	0.4422	-0.1418	0.4644	37.2356
255	-6.2090	-7.8550	10.0126	0.3080	-5.3760	5.3848	1.5360	-1.0650	1.8691	0.4671	0.0612	0.4711	34.8433
270	4.4860	-5.2040	6.8706	6.5120	-0.6314	6.5425	3.5990	0.0701	3.5997	0.1420	-0.0162	0.1429	32.1990
285	-1.8830	-4.5820	4.9538	4.8390	-4.4570	6.5788	1.6200	-3.0760	3.4765	0.1888	0.0159	0.1895	29.0382
300	-5.9020	-0.6488	5.9376	4.4330	-4.6330	6.4122	0.7199	-3.5950	3.6664	0.4329	-0.3509	0.5573	33.2219
315	7.4480	-7.8250	10.8029	7.3770	-4.7940	8.7979	5.7790	-2.7300	6.3914	1.1740	-0.5165	1.2826	31.3746
330	-7.1540	-1.6810	7.3488	-3.3990	-5.3580	6.3452	-2.8500	-1.9970	3.4800	0.3988	0.1365	0.4215	40.0148
345	1.8240	-11.8800	12.0192	3.2260	-2.4540	4.0533	3.2260	-2.5770	4.1289	0.6857	-0.1269	0.6973	34.1752
360	14.6700	-3.1930	15.0135	9.8370	-0.1182	9.8377	3.4430	0.7877	3.5320	0.4422	-0.1418	0.4644	37.2356

LAMPIRAN C

Data nilai gaya pada kecepatan aliran air 1,6 m/s

Sudut Azimuth	Foil 1a			Foil 1b			Foil 1c			Foil 2a			Foil 2b			Foil 2c		
	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)
0	5.2210	0.8651	5.2922	11.6600	1.0480	11.7070	6.4180	3.9770	7.5503	-6.9680	5.0540	8.6079	-0.6035	-2.3480	2.4243	-4.9700	-0.9804	5.0658
15	4.1390	0.3524	4.1540	9.2480	2.4320	9.5624	1.8620	0.1824	1.8709	-9.1700	6.7410	11.3811	-3.6680	-0.0822	3.6689	-0.5498	-0.5860	0.8035
30	8.2680	2.9310	8.7721	5.1560	3.9800	6.5134	1.6850	0.7979	1.8644	-7.2800	5.7940	9.3042	-1.1240	-2.6870	2.9126	-0.8538	-1.1140	1.4036
45	2.2020	3.3930	4.0449	7.7510	5.5760	9.5483	-2.6010	2.1650	3.3841	3.3810	-0.1321	3.3836	3.8100	-1.3040	4.0270	0.6371	-0.0485	0.6389
60	-1.0690	-6.2770	6.3674	1.6730	5.5240	5.7718	1.5420	2.6940	3.1041	3.6670	1.9740	4.1646	2.5710	2.8180	3.8146	-0.3044	1.7200	1.7467
75	-2.3740	-0.4117	2.4094	-0.2423	-0.5945	0.6420	-0.3007	-1.1040	1.1442	2.6440	2.3020	3.5057	0.6698	0.7462	1.0027	0.3780	0.8735	0.9518
90	-1.3340	9.6530	9.7447	6.8080	1.8610	7.0578	-1.7480	0.2791	1.7701	-11.4300	0.8863	11.4643	-6.4260	2.2490	6.8082	0.3638	-1.8110	1.8472
105	0.6478	-2.8920	2.9637	-2.0080	3.0320	3.6366	-1.9010	1.6080	2.4899	-2.5290	3.6610	4.4496	1.2650	0.3984	1.3263	-0.5550	-0.7368	0.9224
120	5.2210	0.8651	5.2922	11.6600	1.0480	11.7070	6.4180	3.9770	7.5503	-6.9680	5.0540	8.6079	-0.6035	-2.3480	2.4243	-4.9700	-0.9804	5.0658
135	4.1390	0.3524	4.1540	9.2480	2.4320	9.5624	1.8620	0.1824	1.8709	-9.1700	6.7410	11.3811	-3.6680	-0.0822	3.6689	-0.5498	-0.5860	0.8035
150	8.2680	2.9310	8.7721	5.1560	3.9800	6.5134	1.6850	0.7979	1.8644	-7.2800	5.7940	9.3042	-1.1240	-2.6870	2.9126	-0.8538	-1.1140	1.4036
165	2.2020	3.3930	4.0449	7.7510	5.5760	9.5483	-2.6010	2.1650	3.3841	3.3810	-0.1321	3.3836	3.8100	-1.3040	4.0270	0.6371	-0.0485	0.6389
180	-1.0690	-6.2770	6.3674	1.6730	5.5240	5.7718	1.5420	2.6940	3.1041	3.6670	1.9740	4.1646	2.5710	2.8180	3.8146	-0.3044	1.7200	1.7467
195	-2.3740	-0.4117	2.4094	-0.2423	-0.5945	0.6420	-0.3007	-1.1040	1.1442	2.6440	2.3020	3.5057	0.6698	0.7462	1.0027	0.3780	0.8735	0.9518
210	-1.3340	9.6530	9.7447	6.8080	1.8610	7.0578	-1.7480	0.2791	1.7701	-11.4300	0.8863	11.4643	-6.4260	2.2490	6.8082	0.3638	-1.8110	1.8472
225	0.6478	-2.8920	2.9637	-2.0080	3.0320	3.6366	-1.9010	1.6080	2.4899	-2.5290	3.6610	4.4496	1.2650	0.3984	1.3263	-0.5550	-0.7368	0.9224
240	5.2210	0.8651	5.2922	11.6600	1.0480	11.7070	6.4180	3.9770	7.5503	-6.9680	5.0540	8.6079	-0.6035	-2.3480	2.4243	-4.9700	-0.9804	5.0658
255	4.1390	0.3524	4.1540	9.2480	2.4320	9.5624	1.8620	0.1824	1.8709	-9.1700	6.7410	11.3811	-3.6680	-0.0822	3.6689	-0.5498	-0.5860	0.8035
270	8.2680	2.9310	8.7721	5.1560	3.9800	6.5134	1.6850	0.7979	1.8644	-7.2800	5.7940	9.3042	-1.1240	-2.6870	2.9126	-0.8538	-1.1140	1.4036
285	2.2020	3.3930	4.0449	7.7510	5.5760	9.5483	-2.6010	2.1650	3.3841	3.3810	-0.1321	3.3836	3.8100	-1.3040	4.0270	0.6371	-0.0485	0.6389
300	-1.0690	-6.2770	6.3674	1.6730	5.5240	5.7718	1.5420	2.6940	3.1041	3.6670	1.9740	4.1646	2.5710	2.8180	3.8146	-0.3044	1.7200	1.7467
315	-2.3740	-0.4117	2.4094	-0.2423	-0.5945	0.6420	-0.3007	-1.1040	1.1442	2.6440	2.3020	3.5057	0.6698	0.7462	1.0027	0.3780	0.8735	0.9518
330	-1.3340	9.6530	9.7447	6.8080	1.8610	7.0578	-1.7480	0.2791	1.7701	-11.4300	0.8863	11.4643	-6.4260	2.2490	6.8082	0.3638	-1.8110	1.8472
345	0.6478	-2.8920	2.9637	-2.0080	3.0320	3.6366	-1.9010	1.6080	2.4899	-2.5290	3.6610	4.4496	1.2650	0.3984	1.3263	-0.5550	-0.7368	0.9224
360	5.2210	0.8651	5.2922	11.6600	1.0480	11.7070	6.4180	3.9770	7.5503	-6.9680	5.0540	8.6079	-0.6035	-2.3480	2.4243	-4.9700	-0.9804	5.0658

Sudut Azimuth	Foil 3a			Foil 3b			Foil 3c			Shaft			Total (N)
	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	Fx (N)	Fy (N)	Resultan (N)	
0	-12.7800	-2.9750	13.1217	-6.0730	-9.5620	11.3275	-5.0890	-3.5540	6.2072	0.7139	0.2554	0.7582	71.3039
15	-11.0800	-14.0100	17.8619	0.5520	-9.5800	9.5959	2.7290	-1.8800	3.3139	0.8416	0.1098	0.8487	62.2126
30	-10.5800	-1.1030	10.6373	7.9380	-8.2060	11.4171	1.2990	-6.4120	6.5423	0.7725	-0.6259	0.9942	59.3671
45	-3.4520	-8.2180	8.9136	8.6900	-7.8970	11.7422	2.9140	-5.5040	6.2278	0.3390	0.0251	0.3399	51.9104
60	3.2440	-21.2000	21.4468	5.7540	-4.3460	7.2108	5.7780	-4.5870	7.3774	1.2230	-0.2272	1.2439	61.0041
75	13.2300	-14.0000	19.2622	13.1800	-8.5300	15.6995	10.3900	-4.8390	11.4616	2.1040	-0.9264	2.2989	56.0791
90	22.0600	-17.6200	28.2331	7.5220	0.8482	7.5697	11.8900	2.9080	12.2404	0.3667	-0.2678	0.4541	86.7356
105	26.1600	-5.7030	26.7744	17.5400	-0.2517	17.5418	6.2620	1.4010	6.4168	0.8085	-0.2534	0.8473	66.5215
120	-12.7800	-2.9750	13.1217	-6.0730	-9.5620	11.3275	-5.0890	-3.5540	6.2072	0.7139	0.2554	0.7582	71.3039
135	-11.0800	-14.0100	17.8619	0.5520	-9.5800	9.5959	2.7290	-1.8800	3.3139	0.8416	0.1098	0.8487	62.2126
150	-10.5800	-1.1030	10.6373	7.9380	-8.2060	11.4171	1.2990	-6.4120	6.5423	0.7725	-0.6259	0.9942	59.3671
165	-3.4520	-8.2180	8.9136	8.6900	-7.8970	11.7422	2.9140	-5.5040	6.2278	0.3390	0.0251	0.3399	51.9104
180	3.2440	-21.2000	21.4468	5.7540	-4.3460	7.2108	5.7780	-4.5870	7.3774	1.2230	-0.2272	1.2439	61.0041
195	13.2300	-14.0000	19.2622	13.1800	-8.5300	15.6995	10.3900	-4.8390	11.4616	2.1040	-0.9264	2.2989	56.0791
210	22.0600	-17.6200	28.2331	7.5220	0.8482	7.5697	11.8900	2.9080	12.2404	0.3667	-0.2678	0.4541	86.7356
225	26.1600	-5.7030	26.7744	17.5400	-0.2517	17.5418	6.2620	1.4010	6.4168	0.8085	-0.2534	0.8473	66.5215
240	-12.7800	-2.9750	13.1217	-6.0730	-9.5620	11.3275	-5.0890	-3.5540	6.2072	0.7139	0.2554	0.7582	71.3039
255	-11.0800	-14.0100	17.8619	0.5520	-9.5800	9.5959	2.7290	-1.8800	3.3139	0.8416	0.1098	0.8487	62.2126
270	-10.5800	-1.1030	10.6373	7.9380	-8.2060	11.4171	1.2990	-6.4120	6.5423	0.7725	-0.6259	0.9942	59.3671
285	-3.4520	-8.2180	8.9136	8.6900	-7.8970	11.7422	2.9140	-5.5040	6.2278	0.3390	0.0251	0.3399	51.9104
300	3.2440	-21.2000	21.4468	5.7540	-4.3460	7.2108	5.7780	-4.5870	7.3774	1.2230	-0.2272	1.2439	61.0041
315	13.2300	-14.0000	19.2622	13.1800	-8.5300	15.6995	10.3900	-4.8390	11.4616	2.1040	-0.9264	2.2989	56.0791
330	22.0600	-17.6200	28.2331	7.5220	0.8482	7.5697	11.8900	2.9080	12.2404	0.3667	-0.2678	0.4541	86.7356
345	26.1600	-5.7030	26.7744	17.5400	-0.2517	17.5418	6.2620	1.4010	6.4168	0.8085	-0.2534	0.8473	66.5215
360	-12.7800	-2.9750	13.1217	-6.0730	-9.5620	11.3275	-5.0890	-3.5540	6.2072	0.7139	0.2554	0.7582	71.3039

LAMPIRAN D

Data nilai torsi pada kecepatan aliran air 0,8 m/s

Sudut Azimuth	Foil 1a			Foil 1b			Foil 1c			Foil 2a			Foil 2b			Foil 2c		
	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)
0	-0.7650	-0.6014	0.9731	-0.1891	-1.5620	1.5734	2.1480	1.6950	2.7362	-0.0952	-0.2875	0.3028	0.1440	-0.5071	0.5271	0.3297	1.4820	1.5182
15	-0.1188	-0.5160	0.5295	-1.4860	-0.8842	1.7292	-0.5976	-0.4827	0.7682	-0.2623	-0.1368	0.2958	-0.6291	-0.3525	0.7211	-0.0513	0.5862	0.5884
30	-0.4348	-0.5610	0.7098	-0.2734	-1.1330	1.1655	0.7817	0.7977	1.1169	0.8445	-0.4229	0.9445	1.0960	-0.7373	1.3209	-0.6022	-0.5351	0.8056
45	-0.6144	0.6903	0.9241	-1.4480	-0.2653	1.4721	2.4190	-0.4057	2.4528	0.0001	-0.2273	0.2273	-0.4439	-0.5873	0.7362	0.2208	1.1990	1.2192
60	0.0728	1.2130	1.2152	-0.0722	1.3620	1.3639	-1.8000	2.7960	3.3253	0.1894	0.1872	0.2663	0.6018	-0.4685	0.7627	0.7009	0.5261	0.8764
75	-0.8306	0.0010	0.8306	-1.7370	-0.2000	1.7485	2.8570	-0.1416	2.8605	0.2299	0.0394	0.2332	0.2143	-0.7243	0.7553	1.2860	1.2940	1.8243
90	-0.1541	-0.9286	0.9413	0.0853	-0.6084	0.6143	1.9540	1.1530	2.2688	0.7435	-0.4965	0.8940	1.8170	-1.2860	2.2260	3.3370	1.9160	3.8479
105	0.0869	-0.1427	0.1671	-0.0283	-0.4753	0.4761	0.6945	1.4650	1.6213	1.3320	-0.5804	1.4530	1.9340	0.6295	2.0339	1.2060	-0.1209	1.2120
120	-0.7650	-0.6014	0.9731	-0.1891	-1.5620	1.5734	2.1480	1.6950	2.7362	-0.0952	-0.2875	0.3028	0.1440	-0.5071	0.5271	0.3297	1.4820	1.5182
135	-0.1188	-0.5160	0.5295	-1.4860	-0.8842	1.7292	-0.5976	-0.4827	0.7682	-0.2623	-0.1368	0.2958	-0.6291	-0.3525	0.7211	-0.0513	0.5862	0.5884
150	-0.4348	-0.5610	0.7098	-0.2734	-1.1330	1.1655	0.7817	0.7977	1.1169	0.8445	-0.4229	0.9445	1.0960	-0.7373	1.3209	-0.6022	-0.5351	0.8056
165	-0.6144	0.6903	0.9241	-1.4480	-0.2653	1.4721	2.4190	-0.4057	2.4528	0.0001	-0.2273	0.2273	-0.4439	-0.5873	0.7362	0.2208	1.1990	1.2192
180	0.0728	1.2130	1.2152	-0.0722	1.3620	1.3639	-1.8000	2.7960	3.3253	0.1894	0.1872	0.2663	0.6018	-0.4685	0.7627	0.7009	0.5261	0.8764
195	-0.8306	0.0010	0.8306	-1.7370	-0.2000	1.7485	2.8570	-0.1416	2.8605	0.2299	0.0394	0.2332	0.2143	-0.7243	0.7553	1.2860	1.2940	1.8243
210	-0.1541	-0.9286	0.9413	0.0853	-0.6084	0.6143	1.9540	1.1530	2.2688	0.7435	-0.4965	0.8940	1.8170	-1.2860	2.2260	3.3370	1.9160	3.8479
225	0.0869	-0.1427	0.1671	-0.0283	-0.4753	0.4761	0.6945	1.4650	1.6213	1.3320	-0.5804	1.4530	1.9340	0.6295	2.0339	1.2060	-0.1209	1.2120
240	-0.7650	-0.6014	0.9731	-0.1891	-1.5620	1.5734	2.1480	1.6950	2.7362	-0.0952	-0.2875	0.3028	0.1440	-0.5071	0.5271	0.3297	1.4820	1.5182
255	-0.1188	-0.5160	0.5295	-1.4860	-0.8842	1.7292	-0.5976	-0.4827	0.7682	-0.2623	-0.1368	0.2958	-0.6291	-0.3525	0.7211	-0.0513	0.5862	0.5884
270	-0.4348	-0.5610	0.7098	-0.2734	-1.1330	1.1655	0.7817	0.7977	1.1169	0.8445	-0.4229	0.9445	1.0960	-0.7373	1.3209	-0.6022	-0.5351	0.8056
285	-0.6144	0.6903	0.9241	-1.4480	-0.2653	1.4721	2.4190	-0.4057	2.4528	0.0001	-0.2273	0.2273	-0.4439	-0.5873	0.7362	0.2208	1.1990	1.2192
300	0.0728	1.2130	1.2152	-0.0722	1.3620	1.3639	-1.8000	2.7960	3.3253	0.1894	0.1872	0.2663	0.6018	-0.4685	0.7627	0.7009	0.5261	0.8764
315	-0.8306	0.0010	0.8306	-1.7370	-0.2000	1.7485	2.8570	-0.1416	2.8605	0.2299	0.0394	0.2332	0.2143	-0.7243	0.7553	1.2860	1.2940	1.8243
330	-0.1541	-0.9286	0.9413	0.0853	-0.6084	0.6143	1.9540	1.1530	2.2688	0.7435	-0.4965	0.8940	1.8170	-1.2860	2.2260	3.3370	1.9160	3.8479
345	0.0869	-0.1427	0.1671	-0.0283	-0.4753	0.4761	0.6945	1.4650	1.6213	1.3320	-0.5804	1.4530	1.9340	0.6295	2.0339	1.2060	-0.1209	1.2120
360	-0.7650	-0.6014	0.9731	-0.1891	-1.5620	1.5734	2.1480	1.6950	2.7362	-0.0952	-0.2875	0.3028	0.1440	-0.5071	0.5271	0.3297	1.4820	1.5182

Sudut Azimuth	Foil 3a			Foil 3b			Foil 3c			Shaft			Total (Nm)
	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	
0	-0.6505	1.6820	1.8034	-0.2733	3.3410	3.3522	1.8890	5.2510	5.5804	-0.0977	-0.1621	0.1893	18.3670
15	0.3883	2.1090	2.1444	2.0090	2.3530	3.0940	4.4410	3.1690	5.4557	-0.0152	0.0161	0.0222	15.3264
30	-0.1811	0.9083	0.9262	-1.3670	0.7745	1.5712	1.6510	4.7590	5.0372	-0.0700	-0.1861	0.1988	13.5977
45	0.5720	0.9342	1.0954	0.8750	3.4740	3.5825	1.5300	0.6379	1.6577	-0.0239	0.0252	0.0348	13.3672
60	1.4630	-0.0458	1.4637	0.8762	-1.0290	1.3515	0.4594	-3.7570	3.7850	-0.1938	0.2011	0.2793	14.4099
75	-0.1186	0.3065	0.3286	-0.3029	2.3950	2.4141	2.0210	2.4170	3.1506	-0.1002	-0.0832	0.1303	14.1458
90	-0.2692	0.9986	1.0342	-1.0090	1.3550	1.6894	1.5690	4.8520	5.0994	-0.0884	-0.1599	0.1827	18.6155
105	-1.3560	0.2788	1.3844	-1.5070	2.0650	2.5564	0.9434	4.4700	4.5685	-0.1215	-0.1666	0.2062	15.4726
120	-0.6505	1.6820	1.8034	-0.2733	3.3410	3.3522	1.8890	5.2510	5.5804	-0.0977	-0.1621	0.1893	18.3670
135	0.3883	2.1090	2.1444	2.0090	2.3530	3.0940	4.4410	3.1690	5.4557	-0.0152	0.0161	0.0222	15.3264
150	-0.1811	0.9083	0.9262	-1.3670	0.7745	1.5712	1.6510	4.7590	5.0372	-0.0700	-0.1861	0.1988	13.5977
165	0.5720	0.9342	1.0954	0.8750	3.4740	3.5825	1.5300	0.6379	1.6577	-0.0239	0.0252	0.0348	13.3672
180	1.4630	-0.0458	1.4637	0.8762	-1.0290	1.3515	0.4594	-3.7570	3.7850	-0.1938	0.2011	0.2793	14.4099
195	-0.1186	0.3065	0.3286	-0.3029	2.3950	2.4141	2.0210	2.4170	3.1506	-0.1002	-0.0832	0.1303	14.1458
210	-0.2692	0.9986	1.0342	-1.0090	1.3550	1.6894	1.5690	4.8520	5.0994	-0.0884	-0.1599	0.1827	18.6155
225	-1.3560	0.2788	1.3844	-1.5070	2.0650	2.5564	0.9434	4.4700	4.5685	-0.1215	-0.1666	0.2062	15.4726
240	-0.6505	1.6820	1.8034	-0.2733	3.3410	3.3522	1.8890	5.2510	5.5804	-0.0977	-0.1621	0.1893	18.3670
255	0.3883	2.1090	2.1444	2.0090	2.3530	3.0940	4.4410	3.1690	5.4557	-0.0152	0.0161	0.0222	15.3264
270	-0.1811	0.9083	0.9262	-1.3670	0.7745	1.5712	1.6510	4.7590	5.0372	-0.0700	-0.1861	0.1988	13.5977
285	0.5720	0.9342	1.0954	0.8750	3.4740	3.5825	1.5300	0.6379	1.6577	-0.0239	0.0252	0.0348	13.3672
300	1.4630	-0.0458	1.4637	0.8762	-1.0290	1.3515	0.4594	-3.7570	3.7850	-0.1938	0.2011	0.2793	14.4099
315	-0.1186	0.3065	0.3286	-0.3029	2.3950	2.4141	2.0210	2.4170	3.1506	-0.1002	-0.0832	0.1303	14.1458
330	-0.2692	0.9986	1.0342	-1.0090	1.3550	1.6894	1.5690	4.8520	5.0994	-0.0884	-0.1599	0.1827	18.6155
345	-1.3560	0.2788	1.3844	-1.5070	2.0650	2.5564	0.9434	4.4700	4.5685	-0.1215	-0.1666	0.2062	15.4726
360	-0.6505	1.6820	1.8034	-0.2733	3.3410	3.3522	1.8890	5.2510	5.5804	-0.0977	-0.1621	0.1893	18.3670

LAMPIRAN E

Data nilai torsi pada kecepatan aliran air 1,2 m/s

Sudut Azimuth	Foil 1a			Foil 1b			Foil 1c			Foil 2a			Foil 2b			Foil 2c		
	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)
0	0.9587	0.1523	0.9707	-1.1720	-0.9103	1.4840	-0.6227	-0.6427	0.8949	-0.7000	-2.3290	2.4319	-0.5639	0.7723	0.9563	0.5122	-0.2193	0.5572
15	2.9890	-0.3169	3.0058	-2.1210	0.6711	2.2246	-0.9862	0.5489	1.1287	-0.7355	1.2830	1.4789	-1.0780	0.6918	1.2809	-0.5455	-0.0523	0.5480
30	-1.2460	0.5569	1.3648	-1.7060	3.0300	3.4773	-0.8061	-0.5493	0.9755	0.5232	2.5550	2.6080	0.4743	1.3790	1.4583	0.0319	0.1963	0.1989
45	-1.1960	-0.1491	1.2053	-1.0920	1.4360	1.8040	-0.2109	-0.6317	0.6660	0.0684	-2.6500	2.6509	-0.3146	-1.5740	1.6051	0.1634	0.2773	0.3219
60	-0.6739	2.7060	2.7887	-1.3420	1.4940	2.0082	-0.3917	0.1006	0.4044	-1.7920	-2.7850	3.3117	1.0010	-0.1330	1.0098	0.4205	-0.3037	0.5187
75	0.0851	-1.2550	1.2579	0.1487	-0.0025	0.1487	0.3553	-0.0770	0.3636	-1.1870	1.0660	1.5954	-0.1965	0.2432	0.3127	-0.2947	0.1295	0.3219
90	-0.2318	1.4900	1.5079	-0.7491	3.7740	3.8476	-1.4920	1.3740	2.0283	-1.8700	-2.7640	3.3372	0.9613	-0.3035	1.0081	0.2465	-1.7840	1.8009
105	-0.2997	1.0350	1.0775	-0.8283	2.7200	2.8433	-0.2443	-0.3565	0.4322	-2.0170	-3.4190	3.9696	0.0676	-1.3080	1.3097	0.2367	-0.3572	0.4285
120	0.9587	0.1523	0.9707	-1.1720	-0.9103	1.4840	-0.6227	-0.6427	0.8949	-0.7000	-2.3290	2.4319	-0.5639	0.7723	0.9563	0.5122	-0.2193	0.5572
135	2.9890	-0.3169	3.0058	-2.1210	0.6711	2.2246	-0.9862	0.5489	1.1287	-0.7355	1.2830	1.4789	-1.0780	0.6918	1.2809	-0.5455	-0.0523	0.5480
150	-1.2460	0.5569	1.3648	-1.7060	3.0300	3.4773	-0.8061	-0.5493	0.9755	0.5232	2.5550	2.6080	0.4743	1.3790	1.4583	0.0319	0.1963	0.1989
165	-1.1960	-0.1491	1.2053	-1.0920	1.4360	1.8040	-0.2109	-0.6317	0.6660	0.0684	-2.6500	2.6509	-0.3146	-1.5740	1.6051	0.1634	0.2773	0.3219
180	-0.6739	2.7060	2.7887	-1.3420	1.4940	2.0082	-0.3917	0.1006	0.4044	-1.7920	-2.7850	3.3117	1.0010	-0.1330	1.0098	0.4205	-0.3037	0.5187
195	0.0851	-1.2550	1.2579	0.1487	-0.0025	0.1487	0.3553	-0.0770	0.3636	-1.1870	1.0660	1.5954	-0.1965	0.2432	0.3127	-0.2947	0.1295	0.3219
210	-0.2318	1.4900	1.5079	-0.7491	3.7740	3.8476	-1.4920	1.3740	2.0283	-1.8700	-2.7640	3.3372	0.9613	-0.3035	1.0081	0.2465	-1.7840	1.8009
225	-0.2997	1.0350	1.0775	-0.8283	2.7200	2.8433	-0.2443	-0.3565	0.4322	-2.0170	-3.4190	3.9696	0.0676	-1.3080	1.3097	0.2367	-0.3572	0.4285
240	0.9587	0.1523	0.9707	-1.1720	-0.9103	1.4840	-0.6227	-0.6427	0.8949	-0.7000	-2.3290	2.4319	-0.5639	0.7723	0.9563	0.5122	-0.2193	0.5572
255	2.9890	-0.3169	3.0058	-2.1210	0.6711	2.2246	-0.9862	0.5489	1.1287	-0.7355	1.2830	1.4789	-1.0780	0.6918	1.2809	-0.5455	-0.0523	0.5480
270	-1.2460	0.5569	1.3648	-1.7060	3.0300	3.4773	-0.8061	-0.5493	0.9755	0.5232	2.5550	2.6080	0.4743	1.3790	1.4583	0.0319	0.1963	0.1989
285	-1.1960	-0.1491	1.2053	-1.0920	1.4360	1.8040	-0.2109	-0.6317	0.6660	0.0684	-2.6500	2.6509	-0.3146	-1.5740	1.6051	0.1634	0.2773	0.3219
300	-0.6739	2.7060	2.7887	-1.3420	1.4940	2.0082	-0.3917	0.1006	0.4044	-1.7920	-2.7850	3.3117	1.0010	-0.1330	1.0098	0.4205	-0.3037	0.5187
315	0.0851	-1.2550	1.2579	0.1487	-0.0025	0.1487	0.3553	-0.0770	0.3636	-1.1870	1.0660	1.5954	-0.1965	0.2432	0.3127	-0.2947	0.1295	0.3219
330	-0.2318	1.4900	1.5079	-0.7491	3.7740	3.8476	-1.4920	1.3740	2.0283	-1.8700	-2.7640	3.3372	0.9613	-0.3035	1.0081	0.2465	-1.7840	1.8009
345	-0.2997	1.0350	1.0775	-0.8283	2.7200	2.8433	-0.2443	-0.3565	0.4322	-2.0170	-3.4190	3.9696	0.0676	-1.3080	1.3097	0.2367	-0.3572	0.4285
360	0.9587	0.1523	0.9707	-1.1720	-0.9103	1.4840	-0.6227	-0.6427	0.8949	-0.7000	-2.3290	2.4319	-0.5639	0.7723	0.9563	0.5122	-0.2193	0.5572

Sudut Azimuth	Foil 3a			Foil 3b			Foil 3c			Shaft			Total (Nm)
	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	
0	1.3780	6.7370	6.8765	0.0125	5.6440	5.6440	-0.2282	2.9050	2.9139	0.0524	-0.0284	0.0596	22.7294
15	6.8820	0.3978	6.8935	1.3030	1.6230	2.0813	1.6010	2.3460	2.8402	0.0528	0.2887	0.2935	21.4819
30	1.5420	-0.8751	1.7730	2.4850	2.9850	3.8840	1.5260	1.0440	1.8489	-0.1120	-0.0485	0.1221	17.5887
45	2.6270	2.1370	3.3864	0.5442	3.5610	3.6023	0.0256	2.0710	2.0712	-0.0125	-0.0264	0.0292	17.3131
60	1.5660	-4.3140	4.5894	2.7780	2.2780	3.5926	2.4780	0.4215	2.5136	0.2398	0.1002	0.2599	20.7371
75	5.1520	4.6700	6.9536	3.1520	4.7180	5.6740	1.7310	3.3960	3.8117	0.2701	0.4995	0.5679	20.4394
90	1.3820	-3.8340	4.0755	3.5980	-2.2320	4.2341	1.3380	-2.2260	2.5972	-0.1062	0.0621	0.1230	24.4367
105	5.3230	-3.7060	6.4860	4.4690	-0.1979	4.4734	0.6250	1.1190	1.2817	-0.0615	0.0810	0.1017	22.3020
120	1.3780	6.7370	6.8765	0.0125	5.6440	5.6440	-0.2282	2.9050	2.9139	0.0524	-0.0284	0.0596	22.7294
135	6.8820	0.3978	6.8935	1.3030	1.6230	2.0813	1.6010	2.3460	2.8402	0.0528	0.2887	0.2935	21.4819
150	1.5420	-0.8751	1.7730	2.4850	2.9850	3.8840	1.5260	1.0440	1.8489	-0.1120	-0.0485	0.1221	17.5887
165	2.6270	2.1370	3.3864	0.5442	3.5610	3.6023	0.0256	2.0710	2.0712	-0.0125	-0.0264	0.0292	17.3131
180	1.5660	-4.3140	4.5894	2.7780	2.2780	3.5926	2.4780	0.4215	2.5136	0.2398	0.1002	0.2599	20.7371
195	5.1520	4.6700	6.9536	3.1520	4.7180	5.6740	1.7310	3.3960	3.8117	0.2701	0.4995	0.5679	20.4394
210	1.3820	-3.8340	4.0755	3.5980	-2.2320	4.2341	1.3380	-2.2260	2.5972	-0.1062	0.0621	0.1230	24.4367
225	5.3230	-3.7060	6.4860	4.4690	-0.1979	4.4734	0.6250	1.1190	1.2817	-0.0615	0.0810	0.1017	22.3020
240	1.3780	6.7370	6.8765	0.0125	5.6440	5.6440	-0.2282	2.9050	2.9139	0.0524	-0.0284	0.0596	22.7294
255	6.8820	0.3978	6.8935	1.3030	1.6230	2.0813	1.6010	2.3460	2.8402	0.0528	0.2887	0.2935	21.4819
270	1.5420	-0.8751	1.7730	2.4850	2.9850	3.8840	1.5260	1.0440	1.8489	-0.1120	-0.0485	0.1221	17.5887
285	2.6270	2.1370	3.3864	0.5442	3.5610	3.6023	0.0256	2.0710	2.0712	-0.0125	-0.0264	0.0292	17.3131
300	1.5660	-4.3140	4.5894	2.7780	2.2780	3.5926	2.4780	0.4215	2.5136	0.2398	0.1002	0.2599	20.7371
315	5.1520	4.6700	6.9536	3.1520	4.7180	5.6740	1.7310	3.3960	3.8117	0.2701	0.4995	0.5679	20.4394
330	1.3820	-3.8340	4.0755	3.5980	-2.2320	4.2341	1.3380	-2.2260	2.5972	-0.1062	0.0621	0.1230	24.4367
345	5.3230	-3.7060	6.4860	4.4690	-0.1979	4.4734	0.6250	1.1190	1.2817	-0.0615	0.0810	0.1017	22.3020
360	1.3780	6.7370	6.8765	0.0125	5.6440	5.6440	-0.2282	2.9050	2.9139	0.0524	-0.0284	0.0596	22.7294

LAMPIRAN F

Data nilai torsi pada kecepatan aliran air 1,6 m/s

Sudut Azimuth	Foil 1a			Foil 1b			Foil 1c			Foil 2a			Foil 2b			Foil 2c		
	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)
0	-0.4100	2.6110	2.6430	-1.3180	6.7040	6.8323	-2.6580	2.4940	3.6449	-3.3370	-4.9210	5.9457	1.7290	-0.5372	1.8105	0.4357	-3.1680	3.1978
15	-0.5295	1.8490	1.9233	-1.4790	4.8650	5.0848	-0.4365	-0.6058	0.7467	-3.6090	-6.1050	7.0920	0.1170	-2.3330	2.3359	0.4217	-0.6300	0.7581
30	-1.2040	4.8480	4.9953	-2.3940	2.6770	3.5913	-0.6980	0.1754	0.7197	-3.2080	-4.9910	5.9331	1.7840	-0.2312	1.7989	0.7478	-0.5388	0.9217
45	-2.2210	1.0060	2.4382	-3.0300	5.3840	6.1781	-1.4370	-0.9695	1.7335	0.9358	4.5830	4.6776	0.8470	2.4760	2.6169	0.0577	0.3491	0.3538
60	5.3550	-0.5768	5.3860	-3.7790	1.1980	3.9643	-1.7550	0.9811	2.0106	-1.3160	2.2960	2.6464	-1.9330	1.2380	2.2955	-0.9743	-0.0784	0.9774
75	0.1530	-2.2310	2.2362	0.2728	-0.0048	0.2728	0.6426	-0.1354	0.6567	-2.1270	1.9170	2.8634	-0.3508	0.4412	0.5637	-0.5257	0.2374	0.5768
90	-3.4180	-0.0713	3.4187	-1.4130	2.8410	3.1730	-0.0318	-1.2800	1.2804	-0.3840	-7.3810	7.3910	-0.9284	-4.0320	4.1375	1.2650	0.0088	1.2650
105	1.7250	0.2782	1.7473	-2.0840	-1.6200	2.6396	-1.1040	-1.1320	1.5812	-1.2540	-4.1540	4.3392	-1.0060	1.3850	1.7118	0.9128	-0.3851	0.9907
120	-0.4100	2.6110	2.6430	-1.3180	6.7040	6.8323	-2.6580	2.4940	3.6449	-3.3370	-4.9210	5.9457	1.7290	-0.5372	1.8105	0.4357	-3.1680	3.1978
135	-0.5295	1.8490	1.9233	-1.4790	4.8650	5.0848	-0.4365	-0.6058	0.7467	-3.6090	-6.1050	7.0920	0.1170	-2.3330	2.3359	0.4217	-0.6300	0.7581
150	-1.2040	4.8480	4.9953	-2.3940	2.6770	3.5913	-0.6980	0.1754	0.7197	-3.2080	-4.9910	5.9331	1.7840	-0.2312	1.7989	0.7478	-0.5388	0.9217
165	-2.2210	1.0060	2.4382	-3.0300	5.3840	6.1781	-1.4370	-0.9695	1.7335	0.9358	4.5830	4.6776	0.8470	2.4760	2.6169	0.0577	0.3491	0.3538
180	5.3550	-0.5768	5.3860	-3.7790	1.1980	3.9643	-1.7550	0.9811	2.0106	-1.3160	2.2960	2.6464	-1.9330	1.2380	2.2955	-0.9743	-0.0784	0.9774
195	0.1530	-2.2310	2.2362	0.2728	-0.0048	0.2728	0.6426	-0.1354	0.6567	-2.1270	1.9170	2.8634	-0.3508	0.4412	0.5637	-0.5257	0.2374	0.5768
210	-3.4180	-0.0713	3.4187	-1.4130	2.8410	3.1730	-0.0318	-1.2800	1.2804	-0.3840	-7.3810	7.3910	-0.9284	-4.0320	4.1375	1.2650	0.0088	1.2650
225	1.7250	0.2782	1.7473	-2.0840	-1.6200	2.6396	-1.1040	-1.1320	1.5812	-1.2540	-4.1540	4.3392	-1.0060	1.3850	1.7118	0.9128	-0.3851	0.9907
240	-0.4100	2.6110	2.6430	-1.3180	6.7040	6.8323	-2.6580	2.4940	3.6449	-3.3370	-4.9210	5.9457	1.7290	-0.5372	1.8105	0.4357	-3.1680	3.1978
255	-0.5295	1.8490	1.9233	-1.4790	4.8650	5.0848	-0.4365	-0.6058	0.7467	-3.6090	-6.1050	7.0920	0.1170	-2.3330	2.3359	0.4217	-0.6300	0.7581
270	-1.2040	4.8480	4.9953	-2.3940	2.6770	3.5913	-0.6980	0.1754	0.7197	-3.2080	-4.9910	5.9331	1.7840	-0.2312	1.7989	0.7478	-0.5388	0.9217
285	-2.2210	1.0060	2.4382	-3.0300	5.3840	6.1781	-1.4370	-0.9695	1.7335	0.9358	4.5830	4.6776	0.8470	2.4760	2.6169	0.0577	0.3491	0.3538
300	5.3550	-0.5768	5.3860	-3.7790	1.1980	3.9643	-1.7550	0.9811	2.0106	-1.3160	2.2960	2.6464	-1.9330	1.2380	2.2955	-0.9743	-0.0784	0.9774
315	0.1530	-2.2310	2.2362	0.2728	-0.0048	0.2728	0.6426	-0.1354	0.6567	-2.1270	1.9170	2.8634	-0.3508	0.4412	0.5637	-0.5257	0.2374	0.5768
330	-3.4180	-0.0713	3.4187	-1.4130	2.8410	3.1730	-0.0318	-1.2800	1.2804	-0.3840	-7.3810	7.3910	-0.9284	-4.0320	4.1375	1.2650	0.0088	1.2650
345	1.7250	0.2782	1.7473	-2.0840	-1.6200	2.6396	-1.1040	-1.1320	1.5812	-1.2540	-4.1540	4.3392	-1.0060	1.3850	1.7118	0.9128	-0.3851	0.9907
360	-0.4100	2.6110	2.6430	-1.3180	6.7040	6.8323	-2.6580	2.4940	3.6449	-3.3370	-4.9210	5.9457	1.7290	-0.5372	1.8105	0.4357	-3.1680	3.1978

Sudut Azimuth	Foil 3a			Foil 3b			Foil 3c			Shaft			Total (Nm)
	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	Tx (Nm)	Ty (Nm)	Resultan (Nm)	
0	2.4520	-6.8490	7.2747	6.4230	-3.9860	7.5593	2.3830	-3.9740	4.6337	-0.1965	0.1135	0.2269	43.5420
15	9.4930	-6.6160	11.5710	7.9730	-0.3528	7.9808	1.1060	1.9940	2.2802	-0.1099	0.1498	0.1858	39.7729
30	2.7700	-7.7180	8.2000	4.9250	4.0770	6.3936	4.4200	0.7592	4.4847	0.4276	0.1802	0.4640	37.0383
45	2.7610	-1.6070	3.1946	4.4070	5.3600	6.9391	2.7290	1.8770	3.3122	-0.1980	-0.0837	0.2150	31.4439
60	12.2700	0.6887	12.2893	2.3000	2.8780	3.6841	2.8490	4.2000	5.0751	0.0946	0.5167	0.5253	38.3288
75	9.2290	8.2990	12.4116	5.6110	8.4350	10.1308	3.0760	6.1080	6.8388	0.4848	0.8983	1.0208	36.5509
90	9.8830	14.8700	17.8547	-0.1977	4.9350	4.9390	-0.8727	7.0790	7.1326	0.1114	0.0235	0.1139	50.5919
105	2.4580	12.0000	12.2492	0.0433	10.0600	10.0601	-0.3968	5.2380	5.2530	0.0929	-0.0372	0.1001	40.5720
120	2.4520	-6.8490	7.2747	6.4230	-3.9860	7.5593	2.3830	-3.9740	4.6337	-0.1965	0.1135	0.2269	43.5420
135	9.4930	-6.6160	11.5710	7.9730	-0.3528	7.9808	1.1060	1.9940	2.2802	-0.1099	0.1498	0.1858	39.7729
150	2.7700	-7.7180	8.2000	4.9250	4.0770	6.3936	4.4200	0.7592	4.4847	0.4276	0.1802	0.4640	37.0383
165	2.7610	-1.6070	3.1946	4.4070	5.3600	6.9391	2.7290	1.8770	3.3122	-0.1980	-0.0837	0.2150	31.4439
180	12.2700	0.6887	12.2893	2.3000	2.8780	3.6841	2.8490	4.2000	5.0751	0.0946	0.5167	0.5253	38.3288
195	9.2290	8.2990	12.4116	5.6110	8.4350	10.1308	3.0760	6.1080	6.8388	0.4848	0.8983	1.0208	36.5509
210	9.8830	14.8700	17.8547	-0.1977	4.9350	4.9390	-0.8727	7.0790	7.1326	0.1114	0.0235	0.1139	50.5919
225	2.4580	12.0000	12.2492	0.0433	10.0600	10.0601	-0.3968	5.2380	5.2530	0.0929	-0.0372	0.1001	40.5720
240	2.4520	-6.8490	7.2747	6.4230	-3.9860	7.5593	2.3830	-3.9740	4.6337	-0.1965	0.1135	0.2269	43.5420
255	9.4930	-6.6160	11.5710	7.9730	-0.3528	7.9808	1.1060	1.9940	2.2802	-0.1099	0.1498	0.1858	39.7729
270	2.7700	-7.7180	8.2000	4.9250	4.0770	6.3936	4.4200	0.7592	4.4847	0.4276	0.1802	0.4640	37.0383
285	2.7610	-1.6070	3.1946	4.4070	5.3600	6.9391	2.7290	1.8770	3.3122	-0.1980	-0.0837	0.2150	31.4439
300	12.2700	0.6887	12.2893	2.3000	2.8780	3.6841	2.8490	4.2000	5.0751	0.0946	0.5167	0.5253	38.3288
315	9.2290	8.2990	12.4116	5.6110	8.4350	10.1308	3.0760	6.1080	6.8388	0.4848	0.8983	1.0208	36.5509
330	9.8830	14.8700	17.8547	-0.1977	4.9350	4.9390	-0.8727	7.0790	7.1326	0.1114	0.0235	0.1139	50.5919
345	2.4580	12.0000	12.2492	0.0433	10.0600	10.0601	-0.3968	5.2380	5.2530	0.0929	-0.0372	0.1001	40.5720
360	2.4520	-6.8490	7.2747	6.4230	-3.9860	7.5593	2.3830	-3.9740	4.6337	-0.1965	0.1135	0.2269	43.5420

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Malang pada 10 September 1995. Saat ini penulis berdomisili di Jombang, Jawa Timur. Penulis menempuh pendidikan di SDIT Al - Ummah (2001 - 2007), SMP Negeri 1 Jombang (2007 - 2010), SMA Negeri 2 Jombang (2010 - 2013), dan pendidikan S-1 di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama menjadi mahasiswa, penulis mengambil bidang minat rekayasa energi dan pengkondisian lingkungan dan menjadi asisten Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan di Teknik Fisika FTI ITS. Penulis juga pernah menjadi Sekretaris Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) ITS Badminton Community (IBC) untuk periode kepengurusan 2014 - 2015 serta menjadi ketua *Engineering Physics English Club* (EPEC) untuk periode kepengurusan 2015 - 2016. Pada 1 Agustus 2016 - 31 Agustus 2016 penulis melakukan *internship* di PT. TPC Indo Plastic and Chemicals, Gresik. Dalam *internship* tersebut, penulis melakukan analisis terhadap performansi *boiler* di PT. TPC Indo Plastic and Chemicals menggunakan metode *direct*. Penulis dapat dihubungi melalui *e - mail* choirunnisaafirdausy@gmail.com.

“Halaman ini memang dikosongkan”